REPOSITORIO ACADÉMICO UPC

Desarrollo de un equipo electrónico de control de alcoholemia con capacidad de detección de flujo de aire dirigido y reconocimiento de rostro

Item Type	info:eu-repo/semantics/bachelorThesis
Authors	Chavesta Gonzales, Wilson Manuel; Merino Rojas, Luis Brandon
Publisher	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
Rights	Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International; info:eu-repo/semantics/openAccess
Download date	01/10/2024 16:06:10
Item License	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Link to Item	http://hdl.handle.net/10757/673604

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Desarrollo de un equipo electrónico de control de alcoholemia con capacidad de detección de flujo de aire dirigido y reconocimiento de rostro

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR(ES)

Chavesta Gonzales, Wilson Manuel	0000-0003-2618-6707
Merino Rojas, Luis Brandon	0000-0003-1246-2248

ASESOR(ES)

Kemper Vásquez Guillermo Leopoldo	0000-0002-7800-7769

Lima, 30 de abril de 2024

Dedicatoria

A mi mamá Sara y a mi papá Wilson por su amor incondicional, apoyo constante y por su sacrificio durante mi vida académica. Esta tesis es su logro tanto como el mío. Gracias por todo

Wilson Chavesta

A mis padres Madeleine y Luis, quienes me enseñaron el valor del esfuerzo y la perseverancia, y me brindaron su amor y apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

Luis Merino

Agradecimientos

Queremos agradecer a Dios por la vida, salud y por brindarnos la oportunidad de culminar satisfactoriamente nuestros estudios. Asimismo, a nuestras familias y amistades por siempre apoyarnos en todos los aspectos durante la carrera. De otro lado, queremos agradecer a nuestro asesor, el Dr. Guillermo Kemper por guiarnos y apoyarnos durante el desarrollo del presente proyecto, a la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) por brindarnos sus instalaciones (comedores, laboratorios, biblioteca, entre otros) y disponer de un grupo de excelentes profesores que compartieron sus conocimientos con nosotros. Finalmente, agradecemos a la "Dirección de investigación de la UPC" por el financiamiento del proyecto, los cuales fueron obtenidos a través del “Noveno Concurso Anual de Incentivo a la Investigación (2021)” en la categoría "D". Esperamos que nuestro trabajo pueda ser beneficioso para las empresas que requieran integrar el control de alcoholemia en el control de acceso.

Resumen

Este trabajo propone un equipo orientado a la medición del nivel alcohólico y simultáneamente aplicar reconocimiento facial a personas que ingresan a lugares de riesgo donde su integridad física puede verse afectada debido a su estado de embriaguez. En el estado del arte, se verifica que muchos métodos de medición de alcohol no integran reconocimiento facial simultáneamente para propósitos de control y registro adecuado del acceso del personal. También existen métodos que no integran un módulo para la detección de flujo de aire que permita corroborar que la persona está utilizado el equipo. Finalmente, se constata que se han aplicado métodos subjetivos como la percepción del olfato emitido, la marcha y la forma de hablar, así como aspectos conductuales. El equipo propuesto soluciona estas deficiencias a través de sensores de sonido, alcohol y de imagen conectados a un computador de placa reducida; los cuales permiten la medición del nivel alcohólico a través del aliento y simultáneamente aplicando reconocimiento facial; como consecuencia, mejora la operatividad y los procedimientos en las empresas. El reconocimiento de rostro biométrico se lleva a cabo a través de algoritmos de procesamiento de imágenes, redes neuronales convolucionales y máquina de soporte vectorial SVM, que corre en una computadora el cual está sincronizada con el equipo de medición. La computadora registra a la persona reconocida en una base de datos con el nivel alcohólico asociado. Para la validación del método propuesto, se evaluaron muestras de niveles alcohólicos, tasa de detección de flujo de aire y la tasa de reconocimiento facial. Las mediciones de alcohol se compararon con las obtenidas mediante un alcoholímetro digital certificado. En esta validación se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, obteniendo un valor de 0.937. El porcentaje de aciertos de la detección del flujo de aire es de 92%, mientras que el porcentaje de verdaderos reconocimientos faciales fue superior al 95 %.

Palabras clave: Nivel alcohólico; detección automática; reconocimiento de rostro; flujo de aire; sincronización; coeficiente de correlación de Pearson.

Development of Electronic alcohol breathalyzer equipment with air flow detection and face recognition capacity

Abstract

This work proposes an equipment oriented to measuring the alcoholic level and simultaneously applying face recognition for people who enter risk places where their physical integrity can be affected due to their drunkenness state. In the state of the art, it is verified that several alcohol measurement methods do not integrate the simultaneous facial recognition for the purposes of proper personnel access control and registration. It is also verified that these methods do not integrate a module for air flow detection that allows corroborating that the person is using the equipment. Finally, it is authenticated that subjective methods are applied such as the emitted smell perception, gait and way of speaking or behavioural aspects. The proposed equipment solves these deficiencies through sound, alcohol and image sensors connected to a single board computer; which allows the measurement of the alcoholic level through the breath and simultaneously applying facial recognition; as a consequence, it improves the operability and procedures in companies. Biometric face recognition is carried out through image processing algorithms, convolutional neural networks and support vector machines SVM, which run on a computer which is synchronized with the measurement equipment. The computer registers the recognized person in a database with the associated detected alcoholic level. For the validation of the proposed equipment, several samples of alcoholic level, airflow detection rate and face recognition rate were evaluated. Alcohol level measurements were compared with those obtained through a certified digital breathalyzer. In this validation, Pearson's correlation coefficient was used, obtaining a value of 0.937. The airflow detection success percentage is 91%, while the percentage of true face recognition was higher than 95%.

Keywords: Alcohol level; automatic detection; face recognition; air flow; timing; Pearson's correlation coefficient.

N° 12012_Chavesta Gonzales, Wilson Manuel_Desarrollo de un equipo electrónico de control de alcoholemia con capacidad de detección de flujo de aire dirigido y

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%	12%	2%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	6%
2	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%
3	elib.bsu.by Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
5	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
6	slideplayer.es Fuente de Internet	<1%
7	riunet.upv.es Fuente de Internet	<1%
8	www.tsc.uc3m.es Fuente de Internet	<1%

Tabla de contenido

1. Capítulo 1: Fundamentos iniciales 1

1.1 Presentación y definición del problema 1

1.1.1 Situación problemática y definición del problema 1

1.1.2 Definición del problema 6

1.1.3 Problema general 6

1.1.4 Problema ingenieril 6

1.2 Estado del arte 7

1.2.1 Productos y soluciones comerciales existentes 7

1.2.2 Propiedad intelectual registrada 10

1.2.3 Aportes de innovación 15

1.2.4 Publicaciones científicas/académicas/ingenieriles 15

1.2.5 Aportes de conocimiento nuevo, procedimientos, métodos y/o aplicaciones 26

1.3 Justificación 26

1.3.1 Justificación respecto a beneficios para el usuario, cliente o patrocinador del proyecto 26

1.3.2 Justificación ingenieril 26

1.3.3 Justificación económica 27

1.3.4 Justificación social 27

1.3.5 Requerimientos técnicos, ingenieriles y operativos 27

1.4 Objetivo general 28

1.5 Objetivos específicos de desarrollo de la solución propuesta 28

1.6 Breve descripción de la solución propuesta 29

1.6.1 Diagrama de bloques 29

1.6.2 Funcionamiento 30

1.6.3 Ilustración del producto final terminado 31

1.6.4 Alcances y limitaciones de la solución propuesta 33

1.6.5 Aplicaciones directas e indirectas de la solución propuesta 34

1.7 Viabilidad 34

1.7.1 Viabilidad técnica 34

1.7.2 Viabilidad económica 36

1.7.3 Viabilidad social 38
1.7.4 Viabilidad operativa 38
2. Capítulo 2: Marco teórico 39
2.1 Introducción 39
2.2 Control de alcoholemia 39
2.2.1 Unidades de alcohol 39
2.2.2 Efectos del alcohol en el organismo 41
2.3 Medición del nivel alcohol en personas 41
2.3.1 Sensado del nivel de alcohol 42
2.3.2 Curva de calibración del sensor de alcohol 44
2.3.3 Adquisición de la señal 45
2.3.4 Comunicación I2C 50
2.4 Reconocimiento de rostro por procesamiento de imágenes 52
2.4.1 Imagen a color 52
2.4.2 Imagen en escala de grises 53
2.4.3 Histograma de gradientes orientados (HOG) 54
2.4.4 Conjunto de árboles de regresión 59
2.4.5 Red Neuronal Convolucional 62
2.4.6 Máquina de Soporte Vectorial 67
2.5 Comentarios finales del capítulo 72
3. Capítulo 3: Descripción del hardware propuesto 73
3.1 Introducción 73
3.2 Materiales y componentes 73
3.2.1 Sensor de flujo de aire 73
3.2.2 Sensor de alcohol 74
3.2.3 Cámara 75
3.2.4 Dispositivo informático. 76
3.2.5 Iluminación 77
3.2.6 Visualización de resultados 78
3.2.7 Material de la estructura 79
3.3 Diseño e implementación de la estructura y la electrónica del dispositivo 80

3.3.1 Estructura del equipo desarrollado 81
3.3.2 Adquisición de la imagen 87
3.3.3 Adquisición de la señal del soplido 88
3.3.4 Sensado y adquisición de la señal de alcohol 90
3.3.5 Procesamiento de datos 94
3.3.6 Iluminación 97
3.3.7 Red LAN 99
3.4 Vista exterior del producto final acabado 99
3.5 Comentarios finales del capítulo 104
4. Capítulo 4: Descripción del Software propuesto 106
4.1 Introducción 106
4.2 Diseño e implementación 106
4.2.1 Adquisición de la imagen 106
4.2.2 Reconocimiento de rostro 108
4.2.3 Registro en la base de datos 117
4.2.4 Visualización de persona identificada y nivel de alcohol detectado (Etapa 4) 119
4.2.5 Comentarios finales del capítulo 125
5. Capítulo 5: Pruebas de validación y resultados 126
5.1 Introducción 126
5.2 Validación de flujo de aire 126
5.2.1 Medición o prueba de referencia (Gold Standard) 126
5.2.2 Escenario de validación 126
5.2.3 Métrica de validación 126
5.2.4 Procedimiento de validación 127
5.2.5 Resultados y discusión 127
5.3 Validación de nivel de alcohol 128
5.3.1 Medición o Prueba de referencia (Gold Standard) 128
5.3.2 Escenario de validación 128
5.3.3 Métricas de validación 129
5.3.4 Procedimiento de validación 130

5.3.5 Resultados y discusión 131
5.4 Validación de reconocimiento facial 135
5.4.1 Medición o Prueba de referencia (Gold Standard) 135
5.4.2 Escenario de validación 135
5.4.3 Métrica de validación 136
5.4.4 Procedimiento de validación 137
5.4.5 Resultados y discusión 139
6. Conclusiones y comentarios finales 142
7. Recomendaciones para trabajos futuros 145
Referencias 147
Anexo(s) 153

Lista de tablas

Tabla 1 *Tabla de productos y soluciones comerciales existentes*..... 8
Tabla 2 *Tabla de patentes registradas*..... 10
Tabla 3 *Publicaciones Científicas/ Académicas/ Ingenieriles*..... 16
Tabla 4 *Cuadro económico total* 37
Tabla 5 *Comparaciones entre mediciones BAC y BrAC* 40
Tabla 6 *Efectos del alcohol en el organismo*..... 41
Tabla 7 *Direcciones de esclavo del ADS1115*..... 52
Tabla 8 *Comparación entre los sensores para la detección de flujo de aire* 73
Tabla 9 *Tabla de comparación de sensores de alcohol*..... 74
Tabla 10 *Características de cámaras*..... 75
Tabla 11 *Características del Raspberry PI 4 y Beaglebone*..... 76
Tabla 12 *Características de tiras de led consideradas* 78
Tabla 13 *Características de pantallas LCD compatibles con el Raspberry PI*..... 79
Tabla 14 *Comparación de materiales para la estructura* 80
Tabla 15 *Tabla de resultados obtenido para la detección de flujo de aire*..... 127
Tabla 16 *Tabla de mediciones de nivel alcohólico (nivel bajo)*..... 132
Tabla 17 *Tabla de mediciones de nivel alcohólico (nivel moderado)*..... 133
Tabla 18 *Tabla de mediciones de nivel alcohólico (nivel alto)*..... 134
Tabla 19 *Niveles de alcohol obtenidos a partir de 50 muestras de exhalaciones adecuadas* 135
Tabla 20 *Parámetros obtenidos por persona y por total de imágenes*..... 140
Tabla 21 *Porcentaje de verdaderos y falsos reconocimientos* 141

Índice de figuras

Figura 1 *Control de acceso realizado por el personal de seguridad* 2
Figura 2 *Caso de accidente laboral en almacén* 3
Figura 3 *Procedimiento del test de alcoholemia del año 2021* 4
Figura 4 *Alcoholímetro digital AT818* 8
Figura 5 *Alcoholímetro vending de uso público* 9
Figura 6 *Sensor Scram CAM* 10
Figura 7 *Diagrama de bloques de la solución propuesta* 29
Figura 8 *Ilustración del equipo electrónico y el ordenador en funcionamiento* 31
Figura 9 *Foto de persona utilizando el equipo (durante la exhalación)* 32
Figura 10 *Partes de un sensor electroquímico* 42
Figura 11 *Diagrama circuital recomendado para el sensor MQ3* 43
Figura 12 *Curva de calibración para la obtención del nivel alcohólico* 44
Figura 13 *Señal analógica (a) y Muestras de la señal analógica (b)* 46
Figura 14 *Representación de una señal muestreada (azul) y su respectiva cuantización (rojo)* 47
Figura 15 *Representación de un cuantizador Mid-Tread (izquierda) y un cuantizador Mid-Rise (derecha)* 48
Figura 16 *Representación de una señal muestreada (azul), su respectiva cuantización (rojo) y codificación binaria* 49
Figura 17 *Conexión del bus I^2 C con resistencias de pull-up para múltiples dispositivos* 50
Figura 18 *Diagrama circuital entre un dispositivo con I2C (maestro) y el ADS1115 (esclavo)* 51
Figura 19 *Algoritmo de detección de objetos usando funciones HOG* 54
Figura 20 *Ejemplo gráfico de la obtención de la gradiente y magnitud* 56
Figura 21 *Imagen HOG de un rostro* 57
Figura 22 *Imagen HOG donde se encuentran los descriptores agrupados de un rostro* 58
Figura 23 *Imagen HOG con rostro detectado a partir de la imagen HOG patrón* 58
Figura 24 *Diagrama de bloques del entrenamiento del conjunto de árboles de regresión* 59
Figura 25 *Diagrama de bloques de la inferencia del conjunto de árboles de regresión* 60

Figura 26 *Rostro con los puntos de referencia*..... 60
Figura 27 *Arquitectura de una red neuronal convolucional*..... 62
Figura 28 *Ejemplo de convolución aplicada a una imagen*..... 63
Figura 29 *Ejemplo de Max Pooling aplicado a una imagen*..... 64
Figura 30 *Diagrama de bloques de la versión básica del módulo inception*..... 64
Figura 31 *Funcionamiento visual del Triplet Loss*..... 66
Figura 32 *Elementos de la máquina de soporte vectorial*..... 68
Figura 33 *SVM con kernel lineal para la clasificación de 3 clases*..... 69
Figura 34 *SVM con kernel polinómico de orden 3 para la clasificación de 3 clases*..... 70
Figura 35 *SVM con kernel RBF para la clasificación de 3 clases*..... 71
Figura 36 *Diagrama de bloques del hardware del equipo desarrollado*..... 81
Figura 37 *Diagrama de bloques de la red LAN*..... 81
Figura 38 *Vista del case con las medidas de la caja*..... 82
Figura 39 *Vista del case que muestra la distancia de la cámara al tubo donde se exhala*82
Figura 40 *Recinto completo en Rhinoceros con las medidas principales del soporte (base y parante)*..... 83
Figura 41 *Estructura del equipo desarrollado usando el software Rhinoceros (vista frontal)*..... 84
Figura 42 *Estructura del equipo desarrollado usando el software Rhinoceros (vista superior)*..... 85
Figura 43 *Estructura del equipo desarrollado usando el software Rhinoceros (vista lateral)*..... 86
Figura 44 *Mediciones para la ubicación de la cámara*..... 87
Figura 45 *Diagrama circuital del módulo fc-04*..... 88
Figura 46 *Diagrama de bloques del sensado y adquisición del nivel de alcohol*..... 90
Figura 47 *Diagrama circuital del módulo MQ3*..... 90
Figura 48 *Circuito electrónico para la comunicación I2C entre el Raspberry PI y el ADS1115*..... 93
Figura 49 *Diagrama circuital implementado para el control de la tira de led RGB*..... 97
Figura 50 *Vista exterior del producto final con todos sus componentes*..... 100
Figura 51 *Vista del ordenador y router conectados al equipo a través de la red LAN*... 101
Figura 52 *Vista exterior de la pantalla 1(Nueva medición)*..... 101

Figura 53 *Vista exterior 2 de la pantalla 1(Nueva medición)* 102
Figura 54 *Vista exterior de la pantalla 2 (Mensaje de ingesta de alcohol)* 102
Figura 55 *Vista exterior de la pantalla 3(Indicador de exhalación)* 103
Figura 56 *Vista exterior de la pantalla 4 (Exhalación detectada)* 103
Figura 57 *Vista exterior de la pantalla 5 (Nivel de alcohol detectado y rostro reconocido)* 104
Figura 58 *Diagrama de bloques de los algoritmos de la solución propuesta* 106
Figura 59 *Diagrama de flujo del algoritmo para la adquisición de la imagen* 107
Figura 60 *Imagen adquirida I2* 108
Figura 61 *Diagrama de bloques del reconocimiento de rostro aplicado a una imagen de prueba* 108
Figura 62 *Histograma de gradientes aplicado a una celda* 110
Figura 63 *Descriptor del bloque normalizado* 111
Figura 64 *Histograma del descriptor HOG compuesto por 3780 valores* 112
Figura 65 *Imagen HOG patrón de múltiples rostros superpuestos* 113
Figura 66 *Imagen I2 con rostro detectado* 113
Figura 67 *Imagen I2 con rostro detectado y puntos de referencia* 114
Figura 68 *Imagen I4 rotada y escalada* 114
Figura 69 *Diagrama de bloques resumido de la inferencia de la arquitectura FaceNet* 115
Figura 70 *Entrada y salida de la red neuronal convolucional* 116
Figura 71 *Imagen I2 con rostro reconocido* 117
Figura 72 *Diagrama de base de datos desarrollado* 118
Figura 73 *Vistas desarrolladas para el control de alcoholemia* 119
Figura 74 *Vistas del aplicativo móvil* 120
Figura 75 *Vista 1 con el botón de nueva medición* 120
Figura 76 *Vista 2 con el mensaje de ingesta de alcohol y botones "Sí" y "No"* 121
Figura 77 *Vista 3 con el mensaje de "Exhale"* 121
Figura 78 *Vista 4 con el mensaje de "Soplido detectado"* 121
Figura 79 *Vista 5 con el nivel alcohólico estimado y el rostro reconocido* 122
Figura 80 *Pantalla de inicio de sesión de la aplicación* 122
Figura 81 *Pantalla de muestras de niveles alcohólicos de un usuario* 124
Figura 82 *Aplicativo con el menú de opciones abierta* 125

Figura 83 *Dispersión de las muestras de nivel alcohólico bajo, moderado y alto* 131
Figura 84 *Ejemplo de información digitada del usuario antes del entrenamiento* 138
Figura 85 *Toma de muestras para el entrenamiento de la SVM* 139
Figura 86 *Métricas obtenidas por persona evaluada en la validación de reconocimiento de rostro* 139
Figura 87 *Fotos de los autores del proyecto para la validación del reconocimiento de rostro* 141

1. Capítulo 1: Fundamentos iniciales

Este capítulo presenta una introducción a los conceptos básicos, seguido de una descripción de la situación problemática y el problema general e ingenieril. Luego, se detallan los productos y soluciones comerciales existentes, así como la propiedad intelectual registrada con el objetivo de presentar el aporte de innovación del proyecto; asimismo, se presenta las publicaciones científicas con el objetivo de evaluar el aporte de conocimiento nuevo, procedimientos, métodos y/o aplicaciones. Además, se abordarán justificaciones, viabilidades y se establecerán los objetivos principales y secundarios del desarrollo del proyecto en cuestión. Finalmente, se expondrá la solución propuesta, y se discutirán sus alcances y limitaciones.

1.1 Presentación y definición del problema

En esta sección se presentarán los aspectos que llevaron a la solución propuesta[1].

1.1.1 Situación problemática y definición del problema

Hoy en día, las empresas se ven en la necesidad de implementar sistemas de control de accesos en sus instalaciones con el fin de evitar la entrada no autorizada de personas o vehículos. Este sistema tiene como objetivo principal utilizar diferentes mecanismos para validar la identificación de usuarios y, al mismo tiempo, gestionar el acceso a recursos específicos, como puertas, armarios o torniquetes. Es importante que este sistema sea flexible para adaptarse a cambios en los permisos, sin imponer restricciones innecesarias a la movilidad de las personas autorizadas, y precisa para asignar correctamente los permisos a cada individuo (Mora, 2016).

La función principal del control de accesos es supervisar las entradas y salidas en áreas designadas como protegidas, recopilando información relevante como quién ingresa, cuándo lo hace y a qué área se dirige.

En cuanto a la automatización del control de accesos, se clasifica en tres niveles:

[1] Este trabajo originalmente fue publicado en Merino, L., Chavesta, W., Kemper, G., Lau, K. (2021). An Electronic Equipment with Face Recognition Capacity Oriented to Measuring the Alcoholic Level in People. In: Botto-Tobar, M., Montes León, S., Camacho, O., Chávez, D., Torres-Carrión, P., Zambrano Vizuete, M. (eds) Applied Technologies. ICAT 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1388. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71503-8_14

- Control manual: Realizado por personal, como vigilantes, guardias de seguridad, personal administrativo o recepcionistas, quienes otorgan o niegan el permiso de acceso basándose en su conocimiento de las personas autorizadas (Mora, 2016).
- Control semimanual: En este tipo de control, el personal cuenta con el respaldo de dispositivos o elementos electromecánicos para evaluar las solicitudes de acceso y decidir si se permite o se deniega la entrada (Mora, 2016).
- Control automático: Este enfoque implica que los equipos o sistemas electrónicos realizan las etapas de verificación y acceso sin intervención humana. Estos sistemas están programados para tomar decisiones cuando es necesario, sin depender de una persona específica (Mora, 2016).

El control de acceso de personas en áreas restringidas, el cual incluye el control de alcoholemia, se realiza manualmente (control manual), debido a que es indispensable que el personal de seguridad (o persona encargada) valide que es la persona autorizada para acceder al lugar y permita su acceso a partir de la cantidad de alcohol en el organismo. La principal razón de esta medida es evitar las consecuencias generadas por el estado de embriaguez de la persona en áreas restringidas, tales como: daños a la infraestructura, daño a los equipos y materiales, daño a su integridad y la de otras, entre otros. En Figura 1 se visualiza el control de acceso manual y en Figura 2 se muestra un caso de accidente laboral en almacén, donde se presenta daños a la integridad y a los equipos y materiales.

Figura 1

Control de acceso realizado por el personal de seguridad

Nota. Se visualiza un ejemplo de control de acceso en empresas. De "Screening & Access Controls", por Inter-Con Security, 2023 (https://www.icsecurity.com/key-services/screening-access-controls/)

Figura 2

Caso de accidente laboral en almacén

Nota. Accidente laboral por caída en un almacén. De "Accidentes de trabajo en el Perú: ¿qué dicen las estadísticas", por Conexión Esan, 2018 (https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/accidentes-de-trabajo-en-el-peru-que-dicen-las-estadisticas).

Se han evaluado una gran variedad de métodos para la medición de alcohol, los cuales incluyen la medición a través de la expiración o soplido, la extracción de sangre, la sudoración, la forma de hablar, la forma de caminar, entre otros. A partir de ello se presenta los métodos de medición del nivel alcohólico en empresas para propósitos de control de acceso.

Por un lado, para medir el nivel alcohólico a través de la expiración, se emplea comúnmente un alcoholímetro o alcohosensor. Este dispositivo, que puede ser portátil, cuenta con una boquilla a través de la cual la persona sopla, lo que permite medir el nivel de alcohol en la sangre de la persona evaluada (Paredes, 2019). El procedimiento realizado a conductores es mostrado en Figura 3 **,** que es similar al control de ingreso de personas a áreas restringidas en algunas empresas. Asimismo, existen equipos que monitorean el nivel alcohólico y reconocen a la persona automáticamente, ya sea a través de algoritmo de reconocimiento facial o huella dactilar. Estos pueden ser utilizados en vehículos para realizar un monitoreo continuo del conductor mientras conduce.

Figura 3

Procedimiento del test de alcoholemia del año 2021

Nota. Procedimiento del test de alcoholemia realizado por los policías. De "Así se hace un test de alcoholemia", por Directorio General de Tráfico [DGT], 2021 (https://revista.dgt.es/es/multimedia/infografia/2021/04ABRIL/0406-Controles-de-alcohol.shtml).

Por otro lado, los métodos alternativos para la obtención del nivel alcohólico (a través de la sudoración, la forma de hablar, forma de caminar y otros) son mediciones que presentan limitaciones para ser aplicadas en el control de acceso, las cuales explicadas detalladamente en el estado del arte. Un producto comercial existente es el SCRAM, que consiste en un dispositivo que se adhiere en el tobillo y realiza el monitoreo continuo de muestras de sudor en la extremidad, y de esta manera indicar el nivel alcohólico a través del sudor (SCRAM Systems, 2021).

A partir de la información recolectada de los métodos de medición de alcohol, la problemática planteada se explicará en el siguiente párrafo:

En el estado del arte, se verifica que muchos métodos de medición de alcohol no integran reconocimiento facial simultáneamente para propósitos de control y registro adecuado del acceso del personal; por lo tanto, estos procesos son dependientes de la inspección visual. También se verifica que existen métodos que no integran un módulo para la detección del soplido que permita corroborar que la persona está utilizado el equipo; en consecuencia, se controla manualmente el uso del equipo para propósitos de control de acceso. En tercer lugar, se constata que se han aplicado métodos de subjetivos realizados a través de: la marcha, la forma de hablar y aspectos conductuales; por consiguiente, se genera errores causados por acciones y comportamientos similares al de una persona alcoholizada.

Las limitaciones del control de alcoholemia evaluadas en el estado del arte son las siguientes: No se corrobora el uso del equipo, no identifica automáticamente a la persona y es dependiente de aspectos conductuales.

Debido al problema del **Limitado control de alcoholemia en el personal de las empresas**, ha generado que se busque mejoras en el control de alcoholemia como el desarrollo de un alcoholímetro que corrobore su uso, identifica automáticamente a la persona y opere con un método objetivo. Como consecuencia, mejorará la operatividad y el procedimiento del control de alcoholemia en las empresas para el control de acceso de personas a áreas restringidas.

*1.1.2 **Definición del problema***

El problema se puede dividir en 2 tipos: General e ingenieril.

*1.1.3 **Problema general***

Limitado procedimiento de control de alcoholemia en el personal de las empresas.

*1.1.4 **Problema ingenieril***

¿Qué consideraciones tecnológicas e ingenieriles de diseño electrónico y diseño de software se deben tener en cuenta, a fin de desarrollar un sistema de control automático de alcoholemia que permita corroborar su uso, identificar automáticamente al personal, estimar su nivel de alcohol a partir de un método objetivo e indicar la presencia de alcohol para que

un personal de seguridad autorice su ingreso a su correspondiente área de trabajo que satisfaga los requerimientos medición del nivel alcohólico a través del soplido con una precisión mayor al 90%, confiabilidad en el reconocimiento de la persona con un porcentaje de verdaderos reconocimientos mayor al 95%, robustez en la detección del soplido con un umbral de intensidad de sonido no menor a 80 dB y adaptabilidad para personas de diferente estatura con el objetivo de optimizar el control de alcoholemia?

1.2 **Estado del arte**

En la Tabla 1 se detallarán algunos productos y soluciones comerciales existentes para la problemática planteada, en la Tabla 2 se encontrarán algunas patentes que proponen solucionar la problemática antes descrita.

1.2.1 ***Productos y soluciones comerciales existentes***

Actualmente en el mercado existen diversos alcoholímetros, en la Tabla 1 se detallan algunos de ellos:

Tabla 1

Tabla de productos y soluciones comerciales existentes

No.	Nombre del Producto, Modelo y Foto	Fabricante y Costo	Función (Breve Descripción)	Ventajas para el cliente	Desventajas para el cliente
1	Alcoholímetro AT818 **Figura 4** *Alcoholímetro digital AT818* *Nota.* De "Alcoholímetro Digital AT818 con Boquillas", por Falabella, s.f. (https://www.falabella.com.pe/falabella-pe/product/119606726/Alcoholimetro-Digital-AT818-con-Boquillas/119606727?exp=linio)	Shenzhen Yoke Electronic, 110 soles.	Realiza la medición del nivel de alcohol en el aire exhalado del usuario. Para ello, adquiere el vapor de etanol presente en el aire expirado. Esta reacciona químicamente con el ácido sulfúrico y el dicromato de potasio, dicha reacción produce energía eléctrica que es procesada por un microcontrolador que permite indicar el nivel de alcohol en la sangre.	Mide el nivel de alcohol en la sangre de manera rápida y sencilla.	No realiza el reconocimiento automático de la persona a medir. Se requiere corroborar el uso del equipo.

2	Alcoholímetro a Monedas Blow & Go CDP 4500 **Figura 5** *Alcoholímetro vending de uso público* *Nota*. De "Alcoholímetro a Monedas Blow & Go CDP 4500 con sensor certificado" por Consumer Design Products. 2019 (https://www.cdpsa.eu/producto/alcoholimetro-a-monedas-blow-go-cdp-4500)	Consumer Design Products, 379 euros.	Realiza la medición del nivel de alcohol presente en el aire exhalado de la persona. Su forma de adquisición del nivel de alcohol es de manera similar al del alcoholímetro digital, pero altamente robusto. Es utilizado para aplicaciones de negocio de alta rotación.	Tiene un panel con pantalla operativa táctil de fácil uso. Mide el nivel de alcohol en la sangre de manera rápida y sencilla.	No realiza el reconocimiento automático de la persona a medir.

3	SCRAM CAM **Figura 6** *Sensor Scram CAM* *Nota.* De "How the SCRAM CAM Bracelet Works", por Scram Systems, 2021 (https://www.scramsystems.com/help/scram-cam/).	SCRAM, el costo de instalación oscila entre 50 y 100$. La tarifa de monitoreo diaria oscila entre 10 y 15$.	Realiza la medición del nivel de alcohol en el sudor. La pulsera utiliza análisis transdérmico, es decir toma muestras y prueba la transpiración insensible que está en la piel. Luego, una pila de combustible reacciona con etanol para medir la presencia de alcohol.	Realiza el monitoreo de nivel de alcohol diariamente de manera constante.	No realiza el reconocimiento automático de la persona a medir.

1.2.2 ***Propiedad intelectual registrada***

En la Tabla 2 se detallan las patentes que solucionarían la problemática planteada de manera parcial o total:

Tabla 2

Tabla de patentes registradas

No.	Nombre de la Invención (español)	Institución de registro y No. de Patente	Muy Breve Descripción (español)	Innovaciones que se podrían adicionar
1	Combina la detección de alcohol y el dispositivo de seguridad de identificación de huellas dactilares complementario del carro	UNIV FUZHOU CN206664285 (U)	El sistema incluye una red de sensores y actuadores en el vehículo. Tiene una estructura simple, alto nivel integrado, velocidad de rápida respuesta, costo bajo y las características que promueven la practicidad.	Implementar adicionalmente un sistema de reconocimiento facial para aumentar la seguridad del sistema
2	Sistema electrónico de detección, identificación y notificación de suscriptores de alcohol.	VALENZUELA CARLOS ALBERTO US201314142728 20131227	El sistema consta de un recinto que alberga componentes que identifican datos de nivel de intoxicación. Esta se conecta a una base de datos de forma inalámbrica para obtener los datos. Además, tiene un servidor virtual que transmite los datos en forma de notificaciones en, al menos, un punto de contacto del sujeto.	Equipar un equipo electrónico que verifique que el usuario realice la prueba adecuadamente sin la necesidad de un supervisor.

3	Detector de alcohol de identificación vocal	FU ZHONGBO CN201520916037U 20151117	El dispositivo cuenta principalmente con un módulo detector de alcohol y un módulo de reconocimiento de huellas de voz que permite obtener la identidad de la persona encuestada y las pruebas de contenido de alcohol simultáneamente.	Adicionar un sistema de reconocimiento facial con el fin de reconocer a la persona y evitar algún error por cambio voluntario o involuntario de voz.
4	Detección del nivel de alcohol en sangre por análisis de respiración mediante el sensor semiconductor.	MANE DHANASHREE IN2013MUM1405 20130415	Es un dispositivo que mide el nivel del alcohol en la sangre por medio del nivel de alcohol en el aliento a través de un sensor semiconductor. Adicionalmente, en un chip, se guarda la información de lecturas anteriores a diferentes usuarios.	Adicionar un equipo electrónico que permita la conectividad a red LAN o WAN para que pueda ser usado en aplicaciones reales.

5	Dispositivos de detección de alcohol respiratorio conectados a dispositivos móviles y en comunicación con aplicaciones móviles, y método de fabricación y uso de los mismos.	ALCOHOOT LLC US201314012650 20130828	Es un dispositivo de detección de alcohol para su uso junto con una aplicación móvil cargada en un dispositivo móvil, tal como un teléfono inteligente. La aplicación permite ver si hay una vía de comunicación con el dispositivo y proporciona resultados de prueba para que un usuario los considere.	Implementar una cámara o un detector de huella digital que permita identificar a la persona que está utilizando el dispositivo. Implementar un sistema que permita corroborar que la persona está utilizando el dispositivo.
6	Nueva detección de alcohol inteligente	LIU XIAOTING CN201721524114U 20171115	Detector de alcohol inteligente con una estructura que incluye una carcasa, una batería, una memoria, detecta la parte principal, la entrada de aire, el dispositivo de reconocimiento facial, la salida de gas, una pantalla de visualización, lámpara de visualización, botón.	Implementar un sistema que permita corroborar que la persona está utilizando el dispositivo.

7	Sensor de datos de alcohol	ZHU JIANFENG; LIU WEIZHEN CN201820756552U 20180521	Es un sensor de datos de alcohol, que incluye la carcasa, el tubo de entrada y el conducto de saldo, el interior de la carcasa está provisto de módulo de detección de tolerancia, módulo de detección de alcohol, módulo de información facial, módulo GPS, módulo de potencia, controlador, módulo GSM y tubo de muestreo de presión de gas.	Implementar un módulo para la detección de flujo de aire para corroborar el soplido de la persona que lo utiliza.
8	Analizador de alcohol en el aliento utilizando una tecnología de reconocimiento facial y un método para medir alcohol utilizando el mismo	ITMT KR102245217B1	La presente invención se refiere a un alcoholímetro que utiliza reconocimiento facial y reconocimiento de huella dactilar para clasificar con precisión a la persona que desea realizar la prueba. El alcoholímetro comprende: una memoria; una unidad de reconocimiento de huellas dactilares; una cámara; un sensor de alcoholemia; y una unidad central de procesamiento.	Implementar un módulo para la detección de flujo de aire para corroborar el soplido de la persona que lo utiliza.

*1.2.3 **Aportes de innovación***

En función a la investigación realizada, existen varias soluciones, principalmente en la patente titulada "Analizador de alcohol en el aliento utilizando una tecnología de reconocimiento facial y un método para medir alcohol utilizando el mismo", la cual realiza la medición de alcohol y reconocimiento de rostro de la persona que utiliza el equipo. Sin embargo, el equipo propuesto presenta lo siguiente:

- Novedad:

  El equipo presenta un sensor de sonido, mientras que la patente mencionada, si bien divulga un alcoholímetro con verificación de identidad mediante reconocimiento facial, este no incorpora un sensor de sonido que confirme el soplido de la persona que está siendo medida; por lo tanto, el equipo desarrollado tiene novedad.
- Ventaja técnica:

  El sensor de sonido integrado a un micrófono permite detectar el sonido generado por el flujo de aire y confirmar el soplido de la persona que está utilizando el equipo o que está siendo medida; por lo tanto, el equipo desarrollado tiene ventaja técnica.

El equipo desarrollado ha sido registrado como patente en Indecopi, lo cual está reflejado en el expediente número 001450-2021/DIN emitido el 13 de setiembre del 2023 (ver anexo 1).

*1.2.4 **Publicaciones científicas/académicas/ingenieriles***

Se han encontrado otros métodos de medición de nivel alcohólico que pueden ser aplicados de control automático de nivel de alcohol propuesto. En la Tabla 3 se detallan las publicaciones científicas/académicas/ingenieriles que han aportado al desarrollo del presente proyecto.

Tabla 3

Publicaciones Científicas/ Académicas/ Ingenieriles

No.	Título de la Publicación	Datos de la Publicación:	Fortalezas de la publicación	Debilidades de la publicación
1	Multivariate Approach to Alcohol Detection in Drivers by Sensors and Artificial Vision.	**Tipo:** Artículo de conferencia. **Autores:** Paul Rosero-Montalvo, Vivian López-Batista, Diego Peluffo-Ordoñez, Vanessa Erazo-Chamorro y Ricardo Arciniega-Rocha. **Medio Indexado:** Congreso. **Volumen:** 11487, pp 234-243. **Fecha y lugar:** 2019, Alemania.	Usa tres sensores para la identificación del consumo de alcohol en los choferes: sensor de alcohol, cámara web (para la detección del chofer), y sensor de temperatura facial. Utiliza algoritmos clasificadores tales como SVM (Support Vector Machine) y CNN (Condensed Nearest Neighbor) para el entrenamiento de los datos adquiridos por los sensores con un rendimiento de 95% (Rosero et al., 2019).	La recopilación de datos proporcionados por los sensores varía debido a la variabilidad del entorno, tales como abrir la puerta, ventana abierta. Requiere el agregado de un algoritmo de reconocimiento facial para identificar a la persona.

2	Eyeglasses-based tear biosensing system: Non-invasive detection of alcohol, vitamins and glucose.	**Tipo:** Artículo científico. **Autores:** Juliane Sempionatto, Laís Canniatti Brazaca, Laura García-Carmona, Gulcin Bolat, Alan Campbell, Aida Martin, Guangda Tang, Rushabh Shah, Rupesh Mishra, Jayoung Kim, Valtencir Zucolotto, Alberto Escarpa, Joseph Wang. **Medio indexado:** Revista. **Volumen:** 18, número 1, pp 10.1-10.11. **Fecha y lugar:** 2017, Reino Unido.	Se mide el nivel alcohólico a través de la extracción de lágrimas. Se realiza mediante el uso de antejos y los dispositivos son colocados fuera del área de los ojos de forma que no obstruya la visión (Sempionatto et al., 2019).	Si bien es un método novedoso, este no realiza el reconocimiento de la persona y es para uso clínico.

3	Hybrid driver safety, vigilance and security system for vehicle.	**Tipo:** Artículo de conferencia. **Autores:** DHIVYA.M y KATHIRAVAN.S. **Medio Indexado:** Congreso. **Número de Artículo:** 7192994. **Fecha y lugar:** 2015, India.	Se utiliza el sistema de detección de alcohol y monitoreo de frecuencia cardíaca, sistema de identificación de nivel de persona, parpadeo que es nivel de somnolencia, detección de robo y método de respuesta automática gratuita para evitar un accidente (Dhivya & Kathiravan, 2015).	No se realiza el reconocimiento automático de la persona (se valida su identificación a través de contraseña).

4	Investigating postural sway features, normalization and personalization in detecting blood alcohol levels of smartphone users.	**Tipo:** Artículo de conferencia. **Autores:** Christina Aiello y Emmanuel Agu. **Medio Indexado:** Congreso. **Número de artículo:** 7764559**.** **Fecha y lugar:** 2016, Estados Unidos.	Detecta el nivel de alcohol en la sangre por medio de la forma en que camina la persona a través del giroscopio y acelerómetro que posee los celulares inteligentes. El sistema limita los rangos máximos y mínimos, normaliza las características (género, altura, peso e identificación) y utiliza un clasificador J48 con una precisión de 89.45% (Aiello & Agu, 2016).	Su precisión es afectada por formas de caminar de personas con cansancio o mal estado de ánimo. No realiza el reconocimiento automático de la persona a medir.

5	Automatic Detection of Driver Impairment Based on Pupillary Light Reflex.	**Tipo:** Artículo científico. **Autores:** Alessandro Amodio, Michele Ermindoro, Davide Maggi, Simone Formentin y Sergio Matteo Savaresi. **Medio Indexado:** Revista. **Volumen:** 20, número 8, pp 3038-3048. **Fecha y lugar:** 2019, Estados Unidos.	Realiza la identificación de una persona sobria y ebria utilizando 8 características de la pupila de los ojos presentes ante estímulos luminosos en un ojo. Utiliza el algoritmo clasificador SVM (Support Vector Machine) con tasa de clasificación errónea por debajo del 10%, que cae por debajo del 5% en el 75% de los casos (Amodio et al., 2018).	Si bien el equipo tiene un buen desempeño, este requiere de mayor número de muestras de personas (mayor a tres personas) para obtener resultados más confiables. No realiza el reconocimiento automático de la persona a medir.

6	Chemiluminescent imaging of transpired et hanol from the palm for evaluation of alcohol metabolism.	**Tipo:** Artículo científico. **Autores:** Takahiro Arakawa, Kazutaka Kita, Xin Wang, Kumiko Miyajima, Koji Toma, Kohji Mitsubayashi. **Medio Indexado:** Revista. **Volumen:** 67, pp 570-575. **Fecha y lugar:** 2015, Reino Unido.	Este sistema mide las concentraciones de etanol como intensidades de luz (quimioluminiscencia) generadas en el dedo de la mano (Arakawa et al., 2015).	Tiene un periodo corto para la medición de alcohol debido a que su concentración en el dedo índice alcanza su punto máximo al minuto 35 y desaparece a los 110 minutos. No realiza el reconocimiento automático de la persona a medir.

7	Non - invasive detection of al cohol concentration based on photoplethysmogram si gnals.	**Tipo:** Artículo científico. **Autores:** Yang-Yi Chen, Chun-Liang Lin, Yu-Cheng Lin, Changchen Zhao. **Medio Indexado:** Revista. **Volumen:** 12, número 2, pp 188-193. **Fecha y lugar:** 2019, Reino Unido.	La detección de alcohol se realiza mediante señales PPG (Photoplethysmography) extraídos del dedo. En ella se utiliza la variación del ritmo cardiaco presentes en el consumo de alcohol. Para la clasificación se utilizó SVM que obtuvo una precisión de 85.75% para 84 sujetos de prueba (Chen et al., 2018).	Su precisión es menor al 90% por lo que se requiere mayor reconocimiento de características de las señales PPG para obtener mayor eficiencia. No realiza el reconocimiento automático de la persona a medir.

8	Cost-effective smartphone-based reconfigurable electrochemical instrument for alcohol determination in whole blood samples	**Tipo:** Artículo científico. **Autores:** Joan Aymerich, Augusto Márquez, Lluís Terés, Xavier Muñoz-Berbel, Cecilia Jiménez, Carlos Domínguez, Francesc Serra-Graells, Michele Dei. **Medio Indexado:** Revista. **Volumen:** 117. **Fecha y lugar:** 2018, Reino Unido.	El equipo permite la medición de la tasa de alcohol en sangre en muestras de sangre completa mediante LoC portátil, miniaturizado y liviano basado en teléfonos inteligentes. A pesar de su bajo costo, tiene un margen de error de 0.009% w/v, el cual es comparable con instrumentos más sofisticados y caros, cuyos márgenes de error oscilan entre 0.001 y 0.0003 w/v (Aymerich et al., 2018).	Es un método invasivo de medición que generaría mucha incomodidad para el usuario si es usada de manera periódica. El sistema está orientado al uso en casos de emergencia, donde la rapidez, versatilidad y simplicidad de medición son de vital importancia.

9	Sobriety Testing Based on Thermal Infrared Images Using Convolutional Neural Networks	**Tipo:** Artículo de conferencia **Autores:** Aditya K. Kamath, A. Tarun Karthik, Leslie Monis, Manjunath Mulimani, Shashidhar G. Koolagudi. **Medio Indexado:** Congreso **Volumen:** 2018, pp 2170-2174. **Fecha y lugar:** 2019, Corea del sur.	Presenta un método que clasifica a la persona como ebria y sobria a partir de imágenes térmicas del rostro, manos, ojos de una persona. Se utiliza una red neuronal convolucional para identificar si se encuentra en estado de ebriedad con una precisión de 88% (Kamath et al., 2019).	Su precisión es menor al 90% por lo que se requiere un conjunto de datos más grande para que sea utilizado en aplicaciones prácticas. Este conjunto también debe tener imágenes de personas en diferentes condiciones tales como en diferentes momentos del día y en diferentes estados de salud y ánimo.

10	A study on voice sobriety test algorithm in a time-frequency domain	**Tipo:** Artículo Científico **Autores:** Geumran Baek and Myungjin Bae **Medio Indexado:** Revista **Volumen**: 8, número 5, pp 395-401 **Fecha y lugar:** 2013, Corea del Sur	Se ha creado un sistema que permite la medición de nivel de alcohol en la sangre a partir de la obtención de la señal de voz. Se utilizó la variación de la tasa de cambio de energía, cambio en la velocidad de pronunciación y duración y cambio en la frecuencia que se produce después del consumo de alcohol (Baek & Bae, 2013).	La tasa de éxito del juicio por intoxicación resulta ser de 77% por ciento, por lo tanto, requiere mayores patrones de discriminación. No realiza el reconocimiento automático de la persona a medir.

*1.2.5 **Aportes de conocimiento nuevo, procedimientos, métodos y/o aplicaciones***

En base a las debilidades encontradas en las publicaciones, en donde las limitaciones son principalmente: no se aplica el reconocimiento facial simultáneamente durante la prueba, resultados poco confiables por insuficientes muestras usados en la validación y desempeño afectado por métodos subjetivos tales como la forma de caminar, cansancio y aspectos conductuales. El presente trabajo apunta a resolver ese problema proponiendo un método que utiliza un computador de placa reducida, un ordenador, una cámara web, una pantalla LCD y sensores de alcohol y flujo de aire; y a través de un algoritmo integra el soplido, medición de alcohol y reconocimiento de rostro permitiendo el reconocimiento con 95.99 de porcentaje de efectividad y una medición de alcohol con 91.21 de precisión.

1.3 **Justificación**

A continuación, se justifica la solución propuesta a nivel de usuario, ingenieril, económico, social y operativo.

*1.3.1 **Justificación respecto a beneficios para el usuario, cliente o patrocinador del proyecto***

La solución a la problemática planteada beneficiará al cliente en los siguientes aspectos:

- El cliente podrá realizar seguimiento de los niveles de alcohol de los empleados.
- El cliente contará con mayor personal que realice su labor en óptimas condiciones.
- El cliente podrá tomar medidas a trabajadores que presente mediciones de alcohol con niveles cercanos al umbral mínimo.
- El cliente tendrá información del personal que no desee realizar la medición de alcohol.
- El cliente estará protegido ante problemas legales relacionados con el nivel alcohólico medido a sus trabajadores.

*1.3.2 **Justificación ingenieril***

El proyecto se justifica a nivel ingenieril porque resuelve con la ingeniería electrónica los siguientes problemas de ingeniería:

- Detección sincronizada de flujo de aire, nivel de alcohol y rostro de la persona.

- Reconocimiento de rostro y actualización de base de datos en tiempo real.
- Desarrollo de una estructura que permita la disposición de los sensores para una adecuada adquisición de la información.

*1.3.3 **Justificación económica***

En el aspecto económico el proyecto se justifica por lo siguiente:

- Puede ayudar a evitar pérdidas económicas como, por ejemplo, aquellas causadas por accidentes laborales en el sector construcción y transportes, cuyo costo promedio por persona accidentada ascendió a S/. 17,274.00. (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo [MTPE], 2021).
- Menor pérdida por equipos dañados por accidentes.
- Menor pérdida en gastos por infraestructura y daño a la propiedad.
- Menor gasto en empleados con tendencia de encontrarse en estado de ebriedad y generen pérdidas por desarrollo de equipos dañados o de periodo corto de funcionamiento.

*1.3.4 **Justificación social***

En el aspecto social el proyecto se justifica por lo siguiente:

- Protección al trabajador frente a cualquier daño que afecte su vida o integridad física.
- Evitará problemas de los trabajadores con los jefes y encargados de áreas superiores.
- Evitará conflictos y problemas entre los trabajadores de la misma empresa ocasionados por el estado de ebriedad.
- Evitará discusiones y peleas con los clientes de la empresa.

*1.3.5 **Requerimientos técnicos, ingenieriles y operativos***

- El sistema propuesto debe ser adaptable para personas de diferente estatura.
- Realizar la medición de nivel de alcohol por medio de un tubo que evite el contacto de flujos salivales de distintas personas.
- El sistema debe tener un sensor que valide la realización del soplido.

- Mostrar en una pantalla LCD la indicación de acción del soplido, el rostro y el nivel alcohólico de la persona.

- Colocar la cámara web en el equipo propuesto en una posición que realice el enfoque del rostro en su totalidad.

- Realizar la programación en lenguaje Python en el computador de placa reducida para la detección de flujo de aire, adquisición del nivel alcohólico, procesamiento de datos y captura de imagen.

- El equipo se debe comunicar con un servidor(ordenador) a través de una red LAN para que este último realice el algoritmo en lenguaje Python, el cual permita el reconocimiento de rostro y registrar la información del usuario en un servidor remoto.

- Se debe tener un indicador que indique una medición de nivel de alcohol por encima del umbral para que un personal de seguridad tome la acción requerida para la situación.

- El tiempo de operación del sistema propuesto por trabajador debe ser menor de 30 segundos ante la no detección de alcohol y menor a 5 minutos ante la detección de alcohol.

1.4 **Objetivo general**

Desarrollo de un equipo electrónico de control de alcoholemia con capacidad de detección de flujo de aire dirigido y reconocimiento de rostro para obtener una precisión en la medición mayor al 90% y un porcentaje de verdaderos reconocimientos mayor al 95%.

1.5 **Objetivos específicos de desarrollo de la solución propuesta**

- Realizar estudios previos respecto a los procedimientos que existen para el control de personas hacia áreas restringidas. Indicador: Un reporte donde se explique los procedimientos existentes para el control de ingreso de personas en empresas.

- Desarrollar una estructura con el propósito de montar una solución para la operatividad, albergar el hardware y el sistema de detección facial y soplido para la detección de alcohol. Indicador: Una estructura compuesta con PLA reutilizado y metal con altura máxima de 180 cm que permita ensamblar el hardware para la detección del soplido, de

alcohol y facial; asimismo permita la visualización de la información registrada a través de una pantalla.

- Desarrollar una placa electrónica que permita adquirir el nivel de alcohol y la imagen que será obtenida por el algoritmo de reconocimiento; asimismo, el hardware deberá ejecutar algoritmos y transmitir los datos adquiridos a un computador remoto vía red donde se ejecute el algoritmo de reconocimiento. Indicador: Una placa electrónica basada en computador de placa reducida conectada a una cámara y a sensores de alcohol y sonido; asimismo se conecta vía ethernet con un computador remoto.

- Desarrollar un algoritmo basado en inteligencia artificial para el reconocimiento de rostro ejecutado en un tiempo menor a 2 segundos; asimismo un algoritmo de estimación de nivel de alcohol con un valor máximo de 1mg/L utilizando procesamiento de datos. Indicador: Un algoritmo en lenguaje Python basado en redes neuronales para el reconocimiento de rostro ejecutado en un tiempo menor a 2 segundos; asimismo un algoritmo basado en regresión no lineal para la estimación de nivel de alcohol con un valor máximo de 1mg/L.

- Validar el sistema propuesto en lo referente a su precisión de la medición del nivel de alcohol de un mínimo total de 30 muestras y en lo referente a su desempeño en el reconocimiento de personas. Indicador: Un reporte de validación donde se detalle el porcentaje error de medición de alcohol y el porcentaje de verdaderos reconocimientos.

1.6 **Breve descripción de la solución propuesta**

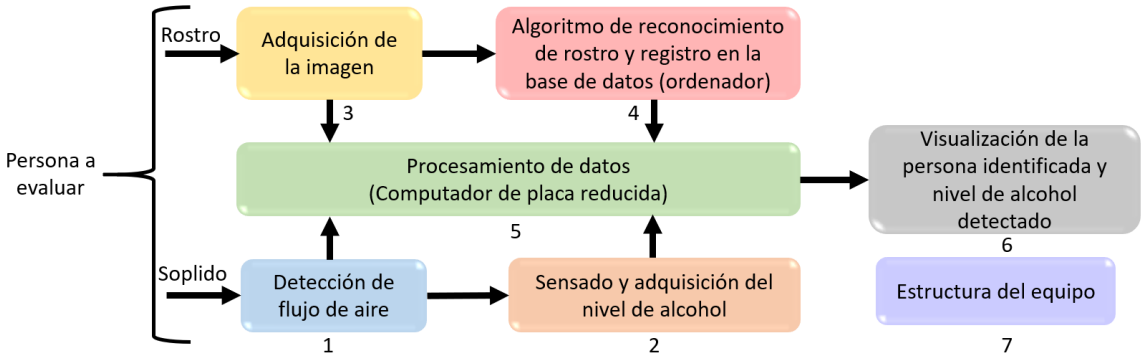
En las siguientes secciones se describe brevemente la solución propuesta en el presente trabajo de tesis.

1.6.1 ***Diagrama de bloques***

En la Figura 7 se muestra el diagrama de bloques pictórico de la solución propuesta que consta de 7 etapas.

Figura 7

Diagrama de bloques de la solución propuesta



*1.6.2 **Funcionamiento***

La solución propuesta será realizada en un recinto de PLA que contendrá el Raspberry Pi 4, la pantalla táctil de 7.5" y los sensores para la medición del nivel alcohólico y flujo de aire. La presente solución cuenta con 7 etapas que se detallarán a continuación.

- **Etapa 1: Detección de flujo de aire**

  En esta etapa, se enciende el equipo, se espera por lo menos 15 minutos para la calibración del sensor de alcohol y se visualiza el botón de "Nueva medición". Luego de pulsar el botón, la persona sopla en el tubo y se detecta el flujo de aire.

- **Etapa 2: Obtención del nivel de alcohol**

  En esta etapa, el sensor de alcohol realiza el sensado del nivel de alcohol en el aliento exhalado en la etapa 1. La señal eléctrica analógica es convertida a digital por medio de un conversor análogo digital que permite al computador de placa reducida procesar la información.

- **Etapa 3: Adquisición de la imagen**

  En esta etapa, se realiza el registro sincronizado del rostro de la persona inmediatamente después del soplido. Esta imagen obtenida es requerida en las etapas 4 y 6.

- **Etapa 4: Algoritmo de reconocimiento de rostro y registro en la base de datos**

  En esta etapa, el ordenador aplica el algoritmo de reconocimiento facial a la imagen obtenida en la etapa 3. Asimismo, registra el nivel de alcohol estimado asociado a la persona reconocida en una base de datos.

- **Etapa 5: Procesamiento de datos (Computador de placa reducida)**

En esta etapa, el computador de placa reducida procesa los datos obtenidos por el sensor de alcohol en la etapa 2, con el fin de estimar el nivel de alcohol de la persona en unidades convencionales como mg/L y %BAC. Posteriormente, esta información es enviada al ordenador.

- **Etapa 6: Visualización de la persona identificada y nivel de alcohol detectado**

  En esta etapa, se visualiza a la persona reconocida obtenida en la etapa 4, así como la estimación generada en la etapa 5. La información se presenta en una interfaz gráfica mostrada por la pantalla LCD táctil.

- **Etapa 7: Estructura del equipo**

  La estructura permite montar la solución para la operatividad, albergar el hardware y el sistema de detección facial y soplido para la detección de alcohol.

*1.6.3 **Ilustración del producto final terminado***

En la Figura 8 se presenta una foto de la solución propuesta y el ordenador en funcionamiento. En Figura 9 se muestra a una foto de una persona utilizando el equipo.

Figura 8

Ilustración del equipo electrónico y el ordenador en funcionamiento

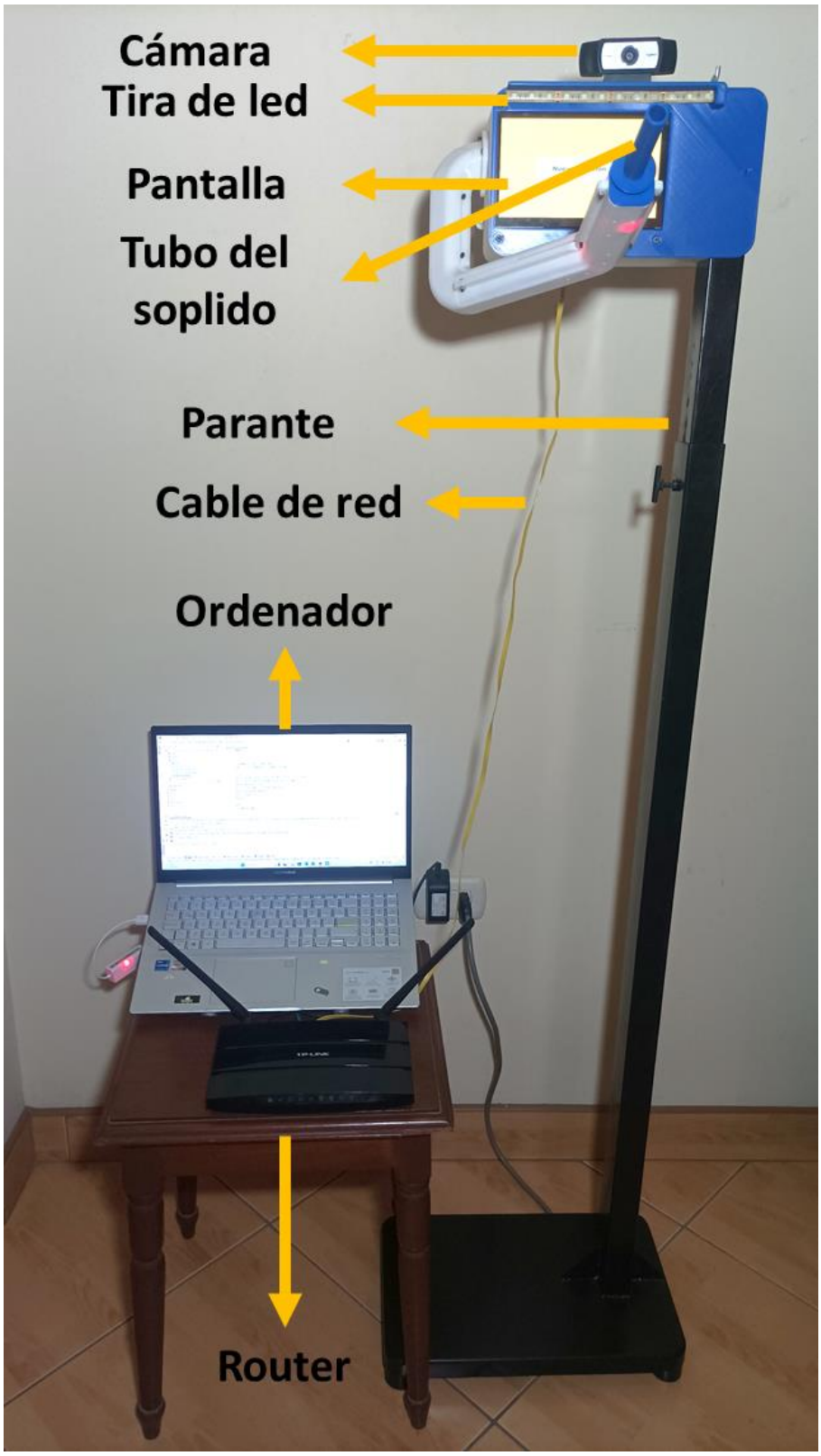
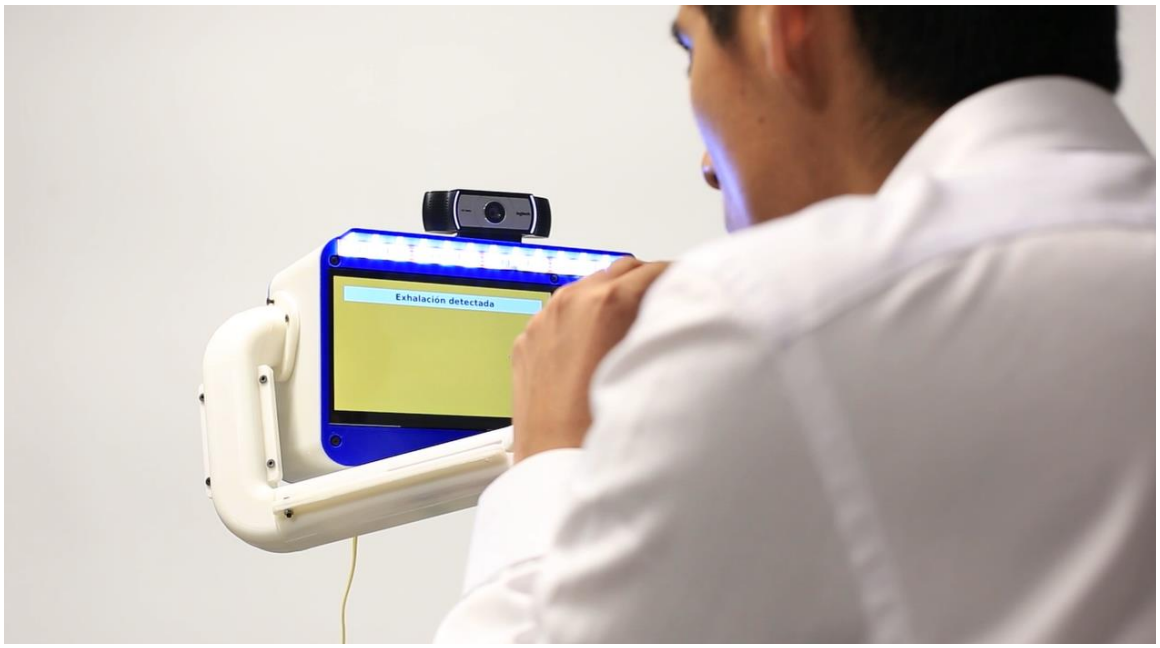


Figura 9

Foto de persona utilizando el equipo (durante la exhalación)



*1.6.4 **Alcances y limitaciones de la solución propuesta***

Los alcances y limitaciones de la solución propuesta son las siguientes:

1.6.4.1 Alcances

- Realiza la medición automática del nivel alcohólico con las siguientes condiciones: (1) para un máximo de una persona, (2) tiempo de prueba máximo de 5 minutos.
- Estima el nivel de alcohol con un error porcentual máximo de 10%; asimismo, reconoce a la persona con un porcentaje de falsos reconocimientos máximo de 5%.
- Corrobora que la persona utiliza el equipo a través de la detección del soplido y la detección de rostro.
- Realiza el registro sincronizado del rostro con un tiempo menor a 1 segundo.
- Permite al usuario utilizar el equipo a través de una interfaz gráfica mostrada en una pantalla táctil.
- Permite al usuario visualizar simultáneamente el nivel de alcohol estimado y rostro reconocido, en un lapso de 3 segundos.
- La solución propuesta permite registrar la información en una base de datos en la nube con los siguientes datos: (1) nombres y apellidos, (2) nivel de alcohol estimado y (3) fecha y hora de la prueba.

1.6.4.2 Limitaciones

- Es dependiente la implementación de una red LAN que permita la conexión entre el ordenador y el computador de placa reducida, con el objetivo principal de aplicar el reconocimiento facial.
- Depende de la conexión a internet para el almacenamiento de la información registrada en la base de datos.
- No es un producto portátil debido a que requiere de enchufe para energizar el computador de placa reducida y el ordenador.
- Puede presentar errores en el registro del rostro y en la detección del flujo de aire si en el ambiente hay ruido sonoro que supera el umbral de intensidad sonora (88 dB).
- Puede presentar errores en la medición generado por un mal soplido o por un ambiente con presencia de alcohol.

*1.6.5 **Aplicaciones directas e indirectas de la solución propuesta***

A continuación, se listan las aplicaciones directas e indirectas del presente proyecto.

Aplicación Directa:

- Es posible utilizar el producto propuesto en empresas que lo requieran, especialmente en el sector minero debido a que se realiza el control manual de alcoholemia por normativa.

Aplicación Indirecta:

- Es posible utilizar el producto propuesto en automóviles para evitar accidentes automovilísticos. Principalmente, se requiere modificar la estructura del equipo y adicionar un circuito electrónico de control de velocidad y envío de mensaje de alerta a un familiar u autoridad.

1.7 **Viabilidad**

La viabilidad del proyecto y el desarrollo de la solución propuesta son descritas a continuación:

*1.7.1 **Viabilidad técnica***

a. Capacitación del personal

Los autores cuentan con la capacidad para desarrollar el proyecto. Esta capacidad se sustenta en los conocimientos obtenidos durante los años de estudio en la carrera de ingeniería electrónica en la UPC: microcontroladores, sistemas embebidos, sensores y actuadores, procesamiento de imágenes y programación. Asimismo, ha conseguido desarrollar habilidades blandas tales como trabajar en equipo, buen nivel de comunicación y actitud positiva que permitirán cumplir con los entregables del proyecto.

b. Asesoramiento Técnico/Ingenieril:

Se tiene a los profesores de la carrera de ingeniería electrónica especialistas en diferentes áreas quienes brindaron las asesorías correspondientes para el desarrollo del presente proyecto.

c. Infraestructura y equipamiento técnico:

Del equipamiento a desarrollar

- El computador de placa reducida, pantalla LCD táctil, la cámara digital, entre otros fueron adquiridos por la universidad para el desarrollo del proyecto y son asequibles localmente. Esto lo hace viable para el desarrollo del proyecto.
- Los materiales para la elaboración de la estructura y el servicio de impresión 3D son asequibles localmente. Esto lo hace viable para el desarrollo del proyecto.
- El lenguaje de programación principal y más utilizado es Python, los lenguajes complementarios utilizados son Java y PHP. Estos lenguajes son de código abierto, por lo tanto, lo hace viable para el desarrollo del proyecto.

Con respecto a lo mencionado previamente, no existe una dependencia de infraestructura o materiales de terceros para el desarrollo del equipamiento. Si surgiera algún inconveniente con el hardware, será sustituido con un producto asequible localmente.

d. Método de validación:

El proceso de validación del sistema desarrollado se realiza a partir de la recopilación de muestras de niveles alcohólicos y la obtención de rostros de personas. El proceso de validación se divide principalmente en 2 partes: validación de la medición de

alcohol junto con el desempeño de la detección de flujo de aire y la validación del reconocimiento de la persona a través de procesamiento de imágenes.

La validación de la medición de alcohol se realiza a través de la comparación entre los valores obtenidos del equipo desarrollado y los valores mostrados de un alcoholímetro digital adquirido por los autores.

La validación del reconocimiento de rostro se realiza a través de la inspección visual de la persona reconocida por el algoritmo.

e. Disponibilidad de componentes y materiales:

En cuanto a la disponibilidad de componentes y materiales, es importante destacar que la pantalla LCD táctil es de fácil importación y, por lo tanto, asequible. Además, los demás componentes, como la Raspberry Pi, el ordenador de placa reducida, la cámara digital, los sensores, el PLA y el metal, son asequibles en el mercado local.

*1.7.2 **Viabilidad económica***

a. Cuadro económico total

En la Tabla 4, se encuentra el listado total de equipos componentes requeridos para el desarrollo del proyecto; asimismo, se muestra el precio unitario de cada componente, precio total según la cantidad y precio total del equipo desarrollado.

Tabla 4

Cuadro económico total

Descripción	Cantidad	Precio unit. (S/)	Precio total (S/)
Pantalla LCD 7 pulgadas	1	279	279
Sensor de Alcohol	5	15	75
Micrófono	5	1	5
Raspberry PI 4	2	250	500
Cámara web HD 1080p	2	279	558
Laptop Asus VivoBook	1	3500	3500
Memoria micro SD 16 GB	2	20	40
Tira de leds RGB (5 metros)	1	50	50
Modem Router TPLINK TD-W8970	1	150	150
Software Python y Rhinoceros	1	0	0
Hosting plan premium(anual)	1	35.8	35.8
Servicio de módulo alcoholemia	1	4000.2	4000.2
Servicio de video	1	500	500
Componentes varios (cables, resistencias, conectores, entre otros)	1	100	100
Total S/			9,793.00

El proyecto es económicamente viable ya que ha sido galardonado con los fondos del "IX CONCURSO ANUAL DE INCENTIVO A LA INVESTIGACIÓN (2021)" otorgado por la dirección de investigación de la UPC. En consecuencia, el monto de S/ 9,793.00, mostrado en la Tabla 4 es financiado con los fondos obtenidos del mencionado concurso.

*1.7.3 **Viabilidad social***

- El equipo propuesto es no invasivo para la persona, sin embargo, requiere un cierto grado de cercanía al tubo para que el sistema realice la detección del soplido y el nivel del alcohol.
- El equipo propuesto no pone en riesgo su integridad física debido a que el uso del tubo es personal con el objetivo de evitar transmisión de enfermedades entre los personales de una empresa.

*1.7.4 **Viabilidad operativa***

- El equipo desarrollado realiza el control automático de alcoholemia de manera precisa y confiable: El porcentaje de error es inferior al 10% en relación al nivel alcohólico, y el porcentaje de reconocimientos verdaderos es superior al 95% en relación a la identificación de la persona.
- El equipo desarrollado es compatible con otros dispositivos: La comunicación entre el ordenador y el computador de placa reducida se realiza a través de una red LAN, el cual es implementada en empresas; por lo tanto, es viable implementar esta comunicación en empresas.
- El equipo desarrollado tiene una interfaz intuitiva y de fácil uso: Se utiliza una pantalla LCD táctil para la visualización de la información, el cual es mostrada en una interfaz gráfica de fácil uso.
- El equipo desarrollado puede adaptarse en el tiempo: El equipo cuenta con interfaces y estándares comunes en el hardware, los cuales facilita la interoperabilidad y permite la integración con otros dispositivos; asimismo el algoritmo desarrollado puede actualizarse y mejorarse de forma regular para agregar nuevas funcionalidades.
- El equipo desarrollado es mantenible: Los componentes son asequibles y reemplazables; asimismo, la documentación de los componentes es adecuada para facilitar las tareas de mantenimiento.

2. Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Introducción

En el presente capítulo se explican los conceptos, aspectos teóricos y consideraciones ingenieriles analizados e implementados para el desarrollo de la solución presentada.

En primer lugar, se explican los conceptos relacionados al alcohol en el control de alcoholemia. En segundo lugar, se explicarán los conceptos presentes en el equipo electrónico para la estimación de alcohol. Finalmente se detallan los fundamentos de reconocimiento facial.

2.2 Control de alcoholemia

En este subcapítulo se explicará los conceptos de alcohol más relevantes en el control de alcoholemia, tales como: unidades de alcohol y los efectos del alcohol en el organismo.

2.2.1 Unidades de alcohol

En el control de alcoholemia se tienen unidades para medir el nivel alcohólico, que hace referencia a la concentración de alcohol en la sangre y en el aliento.

Las unidades comúnmente utilizadas para la medición de la concentración de alcohol en la sangre (BAC) son:

- mg/100ml - miligramos de alcohol en 100 mililitros de sangre.
- %BAC – gramos de alcohol en 100 mililitros de sangre.
- g/L – gramos de alcohol en 1 litro de sangre.

Las unidades comúnmente utilizadas para la medición de la concentración de alcohol en el aliento (BrAC) son:

- mg/L - miligramos de alcohol en 1 litro de aliento.
- ppm– partes de alcohol por millón de partes de aliento.

Dadas las unidades, es posible obtener valores equivalentes entre BAC y BrAC a partir de los datos mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5

Comparaciones entre mediciones BAC y BrAC

BAC			**BrAC**	
%BAC	g/L	mg/100ml	mg/L	ppm
0.01	0.10	10	0.05	25
0.02	0.20	20	0.10	50
0.05	0.50	50	0.25	125
0.06	0.60	60	0.30	150
0.08	0.80	80	0.40	200
0.10	1.00	100	0.50	250
0.11	1.10	110	0.55	275
0.15	1.50	150	0.75	375

Nota. Adaptado de "Breath Alcohol Tester User Manual", por Digital Breth Alcohol Tester, 2019.

A partir de los valores mostrados en la Tabla 5, se concluye que la relación entre las unidades de BAC y BrAC es lineal. Con respecto a los valores en mg/L y %BAC, se puede obtener la ecuación de la recta que permita la conversión de valores de mg/L a %BAC y viceversa. La ecuación que permite la conversión es:

$$alcbac = \frac{alcmgl}{5} \tag{2.1}$$

Donde:

alcmgl: es la concentración de alcohol en el aliento en mg/L.

alcbac: es la concentración de alcohol en la sangre en %BAC.

Es importante resaltar que la ecuación (2.1) obtenida da como resultado una medición aproximada de la concentración de alcohol en la sangre a partir de la concentración de alcohol en el aliento.

*2.2.2 **Efectos del alcohol en el organismo***

La concentración de alcohol en el organismo es directamente proporcional al nivel de impacto en la persona. Para evaluar el nivel de impacto, se estiman efectos sobre bebedores según valores BrAC o BAC. Estos valores son mostrados en los alcoholímetros durante el control de alcoholemia, las cuales son tomados en cuenta para llevar a cabo las acciones correspondientes. En la Tabla 6 se muestran diferentes concentraciones de alcohol en el aliento asociados a sus efectos correspondientes en un bebedor moderado con tolerancia normal.

Tabla 6

Efectos del alcohol en el organismo

Concentración de alcohol en mg/L	**Efectos sobre un bebedor moderado con tolerancia normal**
0.200	Se siente bien. Mínimo o nulo efecto sobre su desempeño.
0.400	Capaz de "dejarse ir" socialmente, se siente "a tope". Ligeramente peligroso si conduce a gran velocidad.
0.500	El juicio queda disminuido. Incapaz de adoptar decisiones importantes. La conducción se hace temeraria.
0.800	Pérdida definitiva de la coordinación. Conducción peligrosa a cualquier velocidad.
1.000	Tendencia a perder el control sexual si no está demasiado adormilado. Torpeza de movimientos.
1.600	Obviamente embriagado. Posiblemente agresivo. Incontrolado. Puede sufrir pérdida posterior de memoria de los acontecimientos.
3.000	A menudo, incontinencia espontánea. Mínima capacidad de excitación sexual. Puede caer en coma.
5.000	Susceptible de morir si no recibe atención médica.

*N*ota. Adaptado de "Efectos del alcohol en el cuerpo humano", por Restrepo y Cardona, 2015.

2.3 **Medición del nivel alcohol en personas**

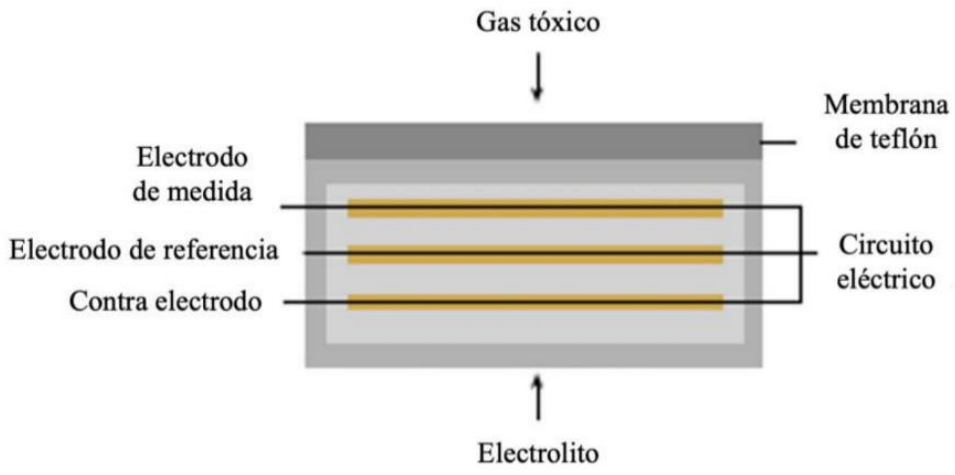
En este subcapítulo se explicarán los conceptos especializados utilizados en el equipo para la medición del nivel de alcohol en personas.

2.3.1 ***Sensado del nivel de alcohol***

Para el sensado del nivel de alcohol durante el control de alcoholemia, se utilizan alcoholímetros cuyo componente principal es el sensor electroquímico. Un transductor o sensor electroquímico "es un dispositivo químico que responde a cambios específicos en el potencial o en la corriente eléctrica como consecuencia de la presencia de una especie química que interactúa con él" (García & Baeza, 2023, p.16). Los elementos fundamentales de un sensor electroquímico incluyen un electrodo de medida, un contra electrodo y, comúnmente un electrodo de referencia (Robés, 2020). Estos electrodos se encuentran dentro del alojamiento de la carcasa del sensor y en contacto con un líquido electrolítico. En Figura 10, se ilustra las partes del sensor electroquímico.

Figura 10

Partes de un sensor electroquímico



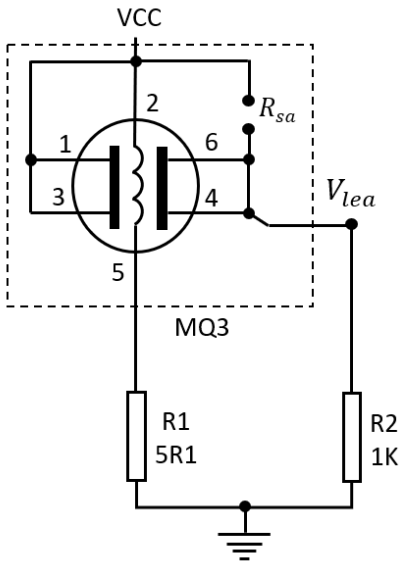
Nota. De "Sensores resistivos de nanofibras de dióxido de estaño para la detección de ozono", por Robés, 2020 (https://oa.upm.es/65018/1/TFG_DIEGO_ROBES_YSART.pdf).

Señala que, en el sensor electroquímico, el gas se desplaza hacia el sensor mediante una membrana hasta alcanzar el electrodo de medida. Una vez en contacto con este último, se produce reacciones electroquímicas, ya sea de oxidación o reducción, según la naturaleza del gas. En una reacción por oxidación, los electrones se desplazan del electrodo de medida hacia el contraelectrodo a través del circuito externo. En contraste, en una reacción por reducción, el flujo de electrones se dirige desde el contraelectrodo hacia el electrodo de medida (Indsci, 2020).

En el sensor de alcohol, se producen reacciones de oxidación y reducción dependiendo del gas con el que interactúe. En la oxidación, el etanol se oxida a ácido acético en el ánodo (electrodo de medida). En la reducción, el oxígeno atmosférico es reducido en el cátodo(contraelectrodo). Al implementarse en un circuito, la corriente eléctrica entre los electrodos es proporcional a la cantidad de etanol que se oxide (de Prada & Martínez, 2003). En el sensor MQ3, el circuito exterior requerido para su implementación contiene 2 resistencias: R1 y R2. La resistencia R1 evita daños al calentador del sensor a largo plazo, el cual debe ser menor a 50Ω. La resistencia R2 permite la corriente eléctrica entre los electrodos, su rango de valores recomendados se encuentra entre 1 y 100KΩ para brindar mayor selectividad de valores. En Figura 11 se muestra el diagrama circuital del sensor MQ3 con R1 y R2.

Figura 11

Diagrama circuital recomendado para el sensor MQ3



Nota. Circuito electrónico requerido para el funcionamiento del sensor MQ3. Adaptado de "Development of alcohol triggered vehicle engine lock system", por Ighalo et al., 2019 (http://doi.org/10.11591/ijra.v8i1.pp68-76).

La resistencia variable R_{sa} es la resistencia equivalente entre los pines 2 y 4 del sensor MQ3 y está en serie con R2, R_{sa} tiene un valor que es proporcional a la cantidad de etanol que está conectada con R2. Para obtener el valor de V_{lea} en función de R_{sa}, se aplica la ecuación (2.2).

$$V_{lea} = 5 \times (\frac{\text{R2}}{\text{R2} + R_{sa}}) \quad (2.2)$$

Donde:

V_{lea}: es el voltaje de salida del sensor que es proporcional a la cantidad de alcohol en el ambiente.

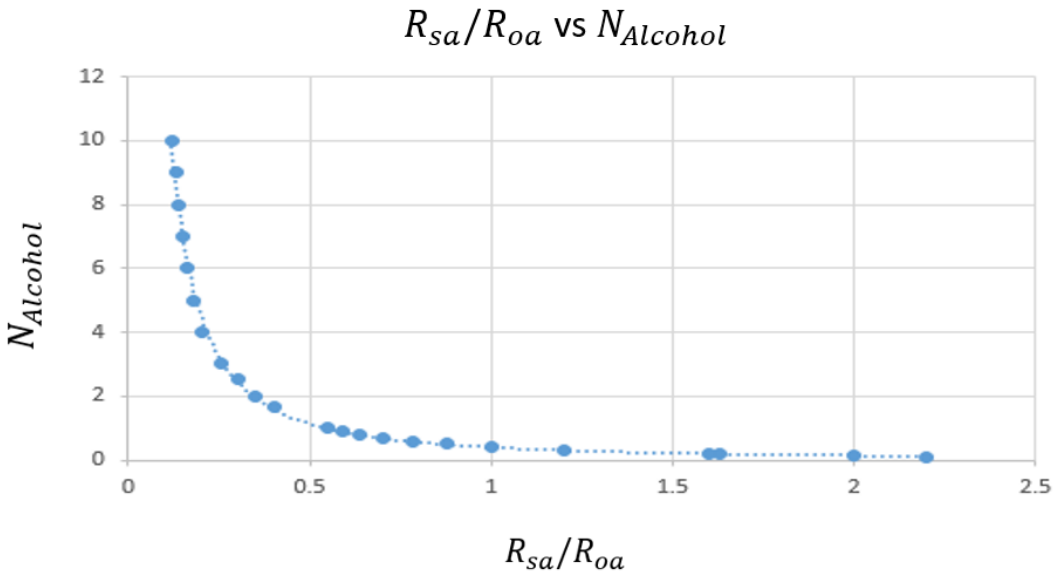
*2.3.2 **Curva de calibración del sensor de alcohol***

Una curva de calibración es una representación gráfica o una tabla de valores que establece la relación entre la magnitud física que se está midiendo (como temperatura, concentración, humedad, etc) y la respuesta que el sensor produce para cada valor de esa magnitud (normalmente expresada en unidades de voltaje o corriente) (Furió, 2018).

En el caso del sensor de alcohol, se relaciona la magnitud física del alcohol (expresada en mg/L, ppm, entre otros) con el cambio de resistencia. La curva de calibración del sensor de alcohol MQ3 obtenido a partir de la gráfica de su hoja técnica hecha por Hanwei Electronics Group Corporation (s.f) es mostrada en Figura 12.

Figura 12

Curva de calibración para la obtención del nivel alcohólico



En Figura 12, R_{sa} es el valor de la resistencia variable y R_{oa} es el valor de R_{sa} en un ambiente de alcohol de 0.4 mg/L; asimismo, el valor de $N_{Alcohol}$ es el valor de alcohol en mg/L.

Para obtener la curva de calibración del sensor MQ3 se realiza lo siguiente:

1) Se obtiene el valor de $\frac{R_{sa}}{R_{oa}}$ ante altos niveles de alcohol.
2) Se obtiene experimentalmente el valor constante de R_{oa}
3) Se obtiene la relación $N_{Alcohol}$ y las resistencias R_{sa} y R_{oa}:
   Se utiliza la regresión no lineal para obtener la función matemática que relaciona el nivel de la concentración de alcohol ($N_{Alcohol}$) en mg/L, y las resistencias R_{sa} y R_{oa}.

4) Se obtiene el valor de $N_{Alcohol}$ y su equivalente en %BAC:
   Para obtener el valor de $N_{Alcohol}$ debe reemplazar el valor de R_{oa} obtenida del paso 3 y el valor de R_{sa} de la ecuación (2.3). La expresión general obtenida es la siguiente:

$$N_{Alcohol} = a \times (\frac{R_{sa}}{R_{oa}})^n \quad (2.3)$$

   Donde:

   $N_{Alcohol}$ es el nivel alcohólico en mg/L.

   a: es el factor de una función potencial.

   n: es el exponente de una función potencial.

   Para obtener el equivalente de $N_{Alcohol}$ en %BAC se debe utilizar la ecuación (2.1) que permite la conversión el nivel alcohólico en mg/L a %BAC.

*2.3.3 **Adquisición de la señal***

La adquisición de la señal consiste en la conversión de señales analógicas a digitales (ADC), la cual se divide en 3 etapas: muestreo, cuantización y codificación; que serán explicadas a continuación:

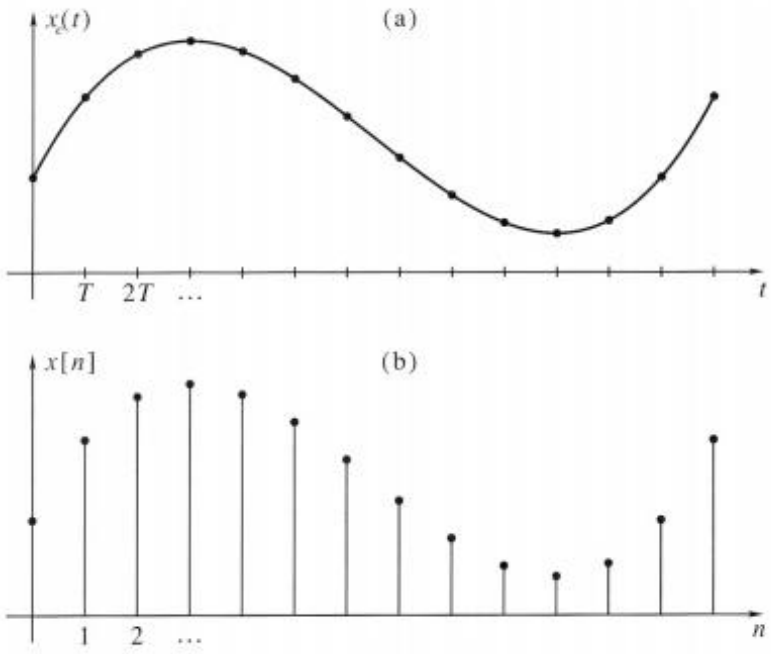
- **Muestreo de señales:**

Es un proceso utilizado en la conversión de señales analógicas a digitales en el cual se obtienen una serie de muestras a partir de una señal continua para convertirse en señal discreta. El tiempo de adquisición (que generalmente es constante) entre muestras se conoce como periodo de muestreo y el número de muestras por unidad de tiempo se conoce como tasa o frecuencia de muestreo. En Figura 13, se muestra un ejemplo de una señal analógica

$x_c(t)$ muestreada con periodo de muestreo denominado T que da como resultado la señal discreta $x[n]$.

Figura 13

Señal analógica (a) y Muestras de la señal analógica (b)



Nota. Se visualiza la señal original y la señal muestreada. De "Conversión A/D. Muestreo", por Universitat de València, 2008 (https://www.uv.es/soriae/tema_1_pds.pdf).

Aunque en el ejemplo se visualiza que la señal discreta tiene un comportamiento similar a la señal analógica, puede surgir ambigüedad al intentar reconstruir la señal continua original a partir de la señal discreta resultante del proceso de muestreo (Universitat de València [UV], 2008).

Para evitar problemas de ambigüedad esta debe cumplir el criterio de Nyquist mostrada en (2.4).

$$fs \geq 2 \times fm \qquad (2.4)$$

Donde:

fm : es la frecuencia de máxima de la señal a muestrear.

fs: es la frecuencia de muestreo.

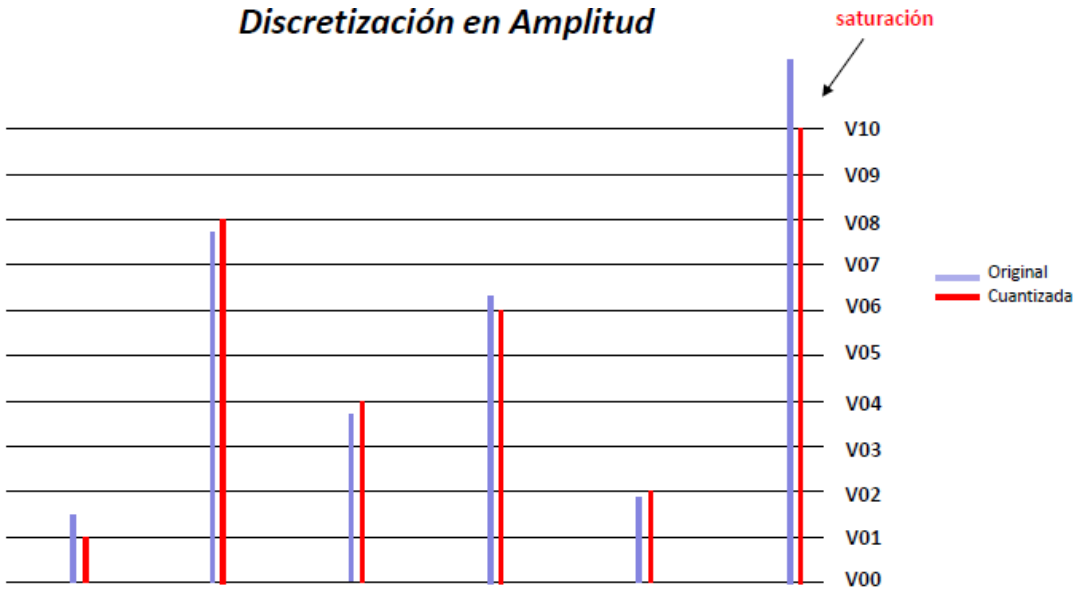
Para seleccionar el valor de la frecuencia máxima (*fm*), se debe tener en cuenta la naturaleza de la señal que se va a medir, los requisitos de precisión y los recursos disponibles. Por ejemplo, el valor de *fm*, probado en el sensor MQ3, es menor a 5 Hz debido a que la señal de gas tiene una variación gradual en comparación a otras magnitudes como la velocidad, presión, luz, entre otras, que podrían requerir frecuencias mayores.

- **Cuantización:**

La cuantización es el proceso de convertir valores continuos de la amplitud de una señal en una serie de valores numéricos decimales discretos correspondientes a los diferentes niveles que contiene la señal analógica original. Estos valores discretos se pueden caracterizar unívocamente mediante un número finito de bits, denominado resolución, utilizando un codificador posterior. Si la señal original sobrepasa el voltaje máximo de cuantización ocurre la saturación, Esto implica que la señal cuantizada tendrá el valor del voltaje máximo de cuantización. Un ejemplo de cuantización de una señal es mostrado en Figura 14.

Figura 14

Representación de una señal muestreada (azul) y su respectiva cuantización (rojo)



Nota. Magnitudes de la señal original y la señal cuantizada con 11 valores. De "Discretización de Amplitud", por G Kemper, comunicación personal, 12 de setiembre de 2019.

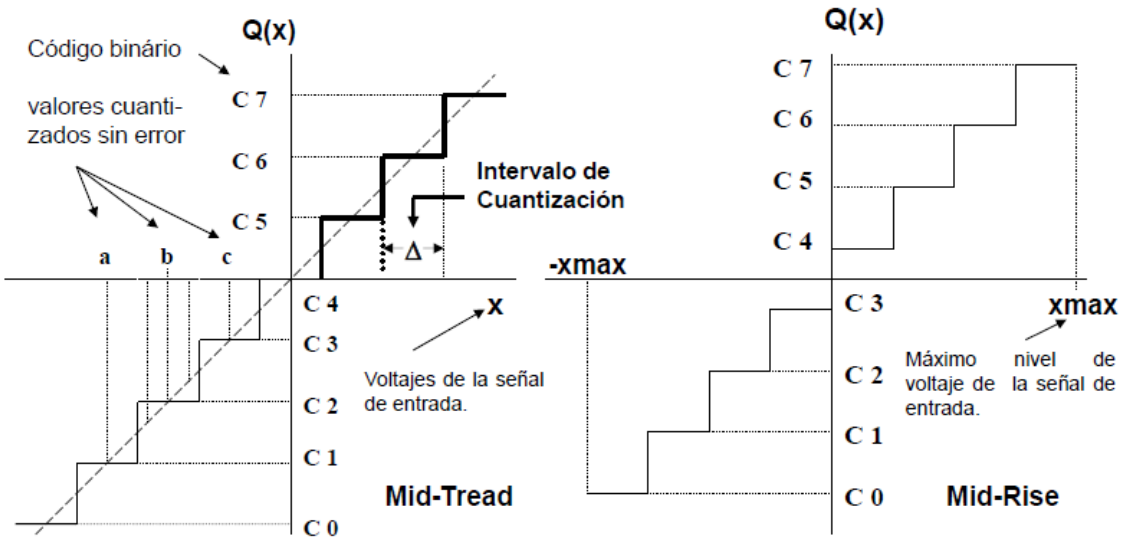
Existen dos tipos de cuantificadores: los uniformes y los no uniformes. La cuantización no uniforme se caracteriza por la división de la recta real en segmentos de longitud variable,

mientras que la cuantificación uniforme implica que todos los segmentos en que se divide la recta real tienen la misma longitud, excepto en los extremos del cuantificador. Dentro de los cuantificadores uniformes se pueden distinguir dos clases básicas: los cuantificadores "mid-tread" y "mid rise" (Ramos et al., 2010).

En Figura 15 se muestra la relación entrada salida de un cuantizador de 3 bits.

Figura 15

Representación de un cuantizador Mid-Tread (izquierda) y un cuantizador Mid-Rise (derecha)



*Nota***.** Gráfica comparativa de los cuantizadores Mid-Tread y Mid-Rise. De "Cuantizador Mid-Tread y Mid-Rise", por G Kemper, comunicación personal, 12 de setiembre de 2019.

El intervalo de cuantización (△) es la distancia entre dos niveles adyacentes del cuantificador. Su ecuación se muestra en la ecuación (2.5)

$$\triangle = \frac{Xmax - Xmin}{2^r - 1} \qquad (2.5)$$

Donde:

$Xmax$: es el valor máximo cuantizado.

$Xmin$: es el valor mínimo cuantizado.

r: es la resolución de cuantizador.

△: es el intervalo de cuantización.

El error de cuantización es la amplitud introducida en el proceso de cuantización. En Figura 15, se visualiza el error que es generado por la diferencia entre las amplitudes de la señal original y cuantizada. El rango de valores del error es mostrado en (2.6)

$$-\frac{\triangle}{2} < e_q(n) < \frac{\triangle}{2} \tag{2.6}$$

Donde:

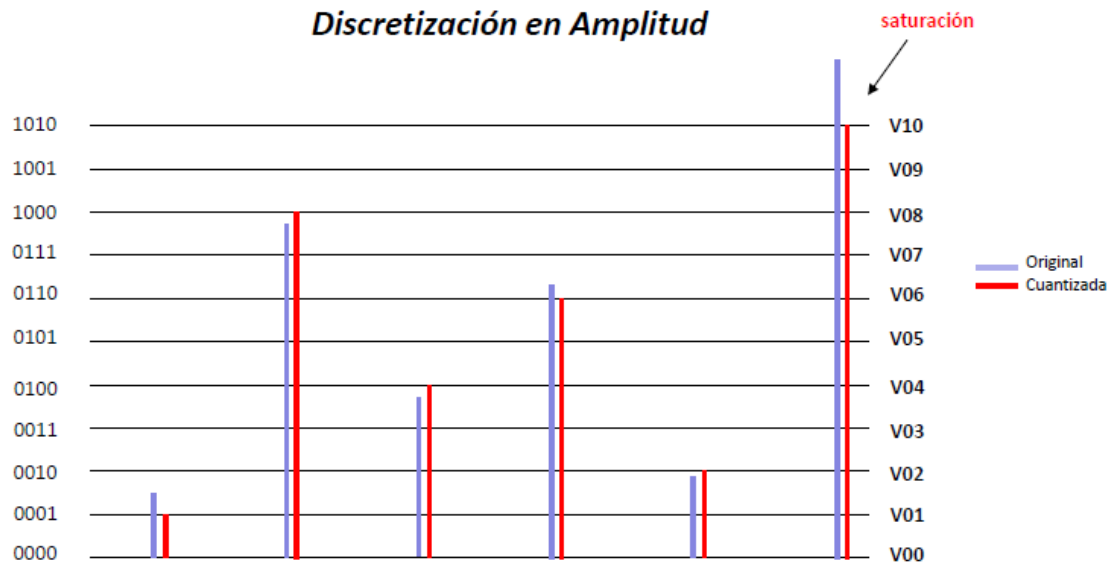
$e_q(n)$: es el error de cuantización:

- **Codificación:**

  Consiste en la representación numéricamente por medio de códigos y estándares previamente establecidos. Se codifica la señal digital en código numérico binario que tiene un número de bits igual a la resolución del cuantizador (r) (Ramos et al., 2010). En Figura 16 se visualiza los valores binarios de cuatro bits obtenidos de la cuantización en Figura 15.

Figura 16

Representación de una señal muestreada (azul), su respectiva cuantización (rojo) y codificación binaria



Nota. Valores de una señal original, cuantizada y codificada. De "Discretización en Amplitud", por G. Kemper, comunicación personal, 12 de setiembre de 2019.

Estos conceptos explicados son aplicados en la configuración de un conversor análogo/digital que envía el nivel de alcohol codificado al computador de placa reducida. En el conversor ADS1115, los parámetros de configuración son:

- frecuencia de muestreo (fs): Debe cumplir con el criterio de Nyquist.
- $Xmax$ y $Xmin$: Debe ocupar todo el rango de voltajes de salida del sensor de alcohol.

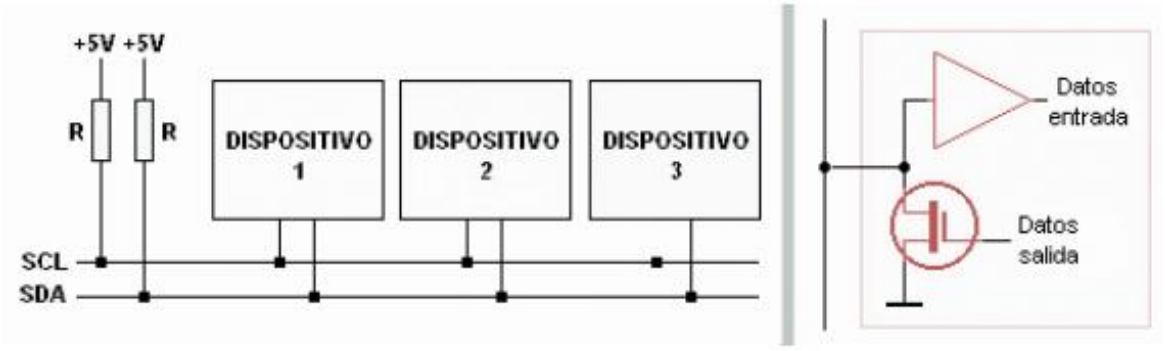
*2.3.4 **Comunicación I2C***

El término I2C (Inter Integrated Circuit) da nombre a un estándar para bus de comunicaciones serie.

A nivel físico, el bus I2C se basa en la transmisión de señales a través de dos cables conocidos como SCL y SDA. SCL es la línea utilizada para transmitir la señal de reloj del sistema, mientras que SDA es la línea utilizada para transmitir la señal de datos. Las líneas SDA y SCL se mantienen en un estado de alta polarización, lo que implica la necesidad de resistencias de pull-up. El valor recomendado para estas resistencias oscila entre 1KΩ y 10 KΩ, lo que permite una estructura de bus que facilita la conexión de múltiples entradas y salidas, tal como se muestra en Figura 17 (Madero, 2009).

Figura 17

Conexión del bus I^2 C con resistencias de pull-up para múltiples dispositivos



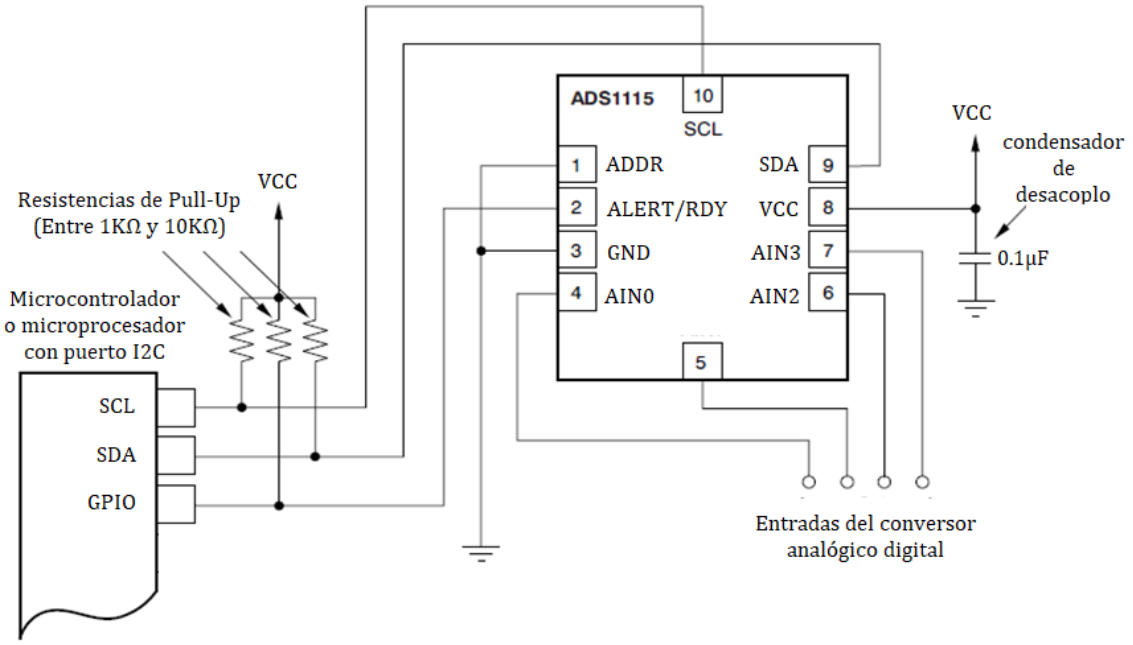
Nota. Diagrama circuital general para la comunicación I^2C. De "Bus de comunicación I^2C", por Madero, 2009 (https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70099/fichero/Trabajo+Fin+de+Master+-+Vicente+Madero%252F14+-+Ap%C3%A9ndice+H+-+I2C.pdf).

Los dispositivos conectados al bus I2C tienen una dirección única para cada uno. Existen dispositivos maestros que gobiernan la línea de reloj, y otros esclavos, que intervienen en la comunicación cuando son requeridos por el maestro (Madero, 2009).

En el equipo desarrollado, la comunicación I2C permite el envío de la señal de alcohol adquirido desde el conversor análogo digital (esclavo) al computador de placa reducida (maestro) para que la señal codificada sea procesada por el computador. El diagrama circuital de las conexiones entre un dispositivo con puerto I2C y el conversor ADS1115 es mostrado en Figura 18.

Figura 18

Diagrama circuital entre un dispositivo con I2C (maestro) y el ADS1115 (esclavo)



Nota. Este es el diagrama recomendado para la conexión del ADS1115. Adaptado de "ADS1115 Datasheet (PDF) - Texas Instruments", por Texas Instruments, 2009 (https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/292735/TI/ADS1115.html).

Para la implementación de la comunicación I2C para transmitir la señal adquirida con el conversor ADS1115, se debe realizar las siguientes configuraciones:

- **Multiplexor de entrada:** Se configura las entradas de la señal analógica a convertir, puede ser AIN0, AIN1, AIN2 o AIN3.
- **Dirección de esclavo:** El pin ADDR permite la configuración de la dirección de esclavo, además, es usado como indicador de que el ADS1115 ha realizado la conversión. El pin ADDR debe conectarse con los pines mostrados en la Tabla 7 para la asignación de la dirección de esclavo del ADS1115.

Tabla 7

Direcciones de esclavo del ADS1115

PIN ADDR	Dirección de esclavo
GND	0x48(utilizada)
VCC	0x49
SDA	0x4A
SCL	0x4B

*N*ota. Adaptado de "ADS1115 Datasheet (PDF) - Texas Instruments", por Texas Instrument, 2009.

- **Bandera de conversión ADC realizada**: El pin ALERT/RDY es un pin de salida del ADS1115 donde indica el '0' lógico cuando se realiza la conversión y '1' lógico mientras realiza la conversión.

2.4 Reconocimiento de rostro por procesamiento de imágenes

En este apartado se explicarán los conceptos básicos aplicados en el reconocimiento de la persona.

2.4.1 Imagen a color

Una imagen a color, también denominada imagen digital RGB, es una composición de tres imágenes monocromáticas independientes, cada una de tamaño $M \times N$, que representan la escala de colores rojos (R), verdes (G) y azules (B). Este sistema es el más común para representar las imágenes que se muestran en monitores (Alonso, 2009). La profundidad de color "r_c " es el número de bits utilizado para la representación de cada píxel en un espacio de color. El rango de valores que toma un píxel se describe en las Ecuaciones 2.7, 2.8 y 2.9.

$$0 < I_R(x,y) < 2^{r_c} - 1 \quad (2.7)$$

$$0 < I_G(x,y) < 2^{r_c} - 1 \quad (2.8)$$

$$0 < I_B(x,y) < 2^{r_c} - 1 \quad (2.9)$$

Donde:

r_c: Profundidad de color en bits

$I_R(x, y)$: Componente rojo de una imagen digital.

$I_G(x, y)$: Componente verde de una imagen digital.

$I_B(x, y)$: Componente azul de una imagen digital.

Las matrices que conforman la imagen digital RGB son: $I_R(x, y)$, $I_G(x, y)$ y $I_B(x, y)$, las cuales son mostradas en las ecuaciones (2.10), (2.11) y (2.12).

R
$$I_R(x,y) = \begin{bmatrix} I_R(0,0) & I_R(0,1) & - & I_R(0,N-1) \\ I_R(1,0) & I_R(1,1) & - & I_R(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I_R(M-1,0) & I_R(M-1,1) & - & I_R(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

G
$$I_G(x,y) = \begin{bmatrix} I_G(0,0) & I_G(0,1) & - & I_G(0,N-1) \\ I_G(1,0) & I_G(1,1) & - & I_G(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I_G(M-1,0) & I_G(M-1,1) & - & I_G(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

B
$$I_B(x,y) = \begin{bmatrix} I_B(0,0) & I_B(0,1) & - & I_B(0,N-1) \\ I_B(1,0) & I_B(1,1) & - & I_B(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I_B(M-1,0) & I_B(M-1,1) & - & I_B(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Donde:

$M \times N$: es la resolución espacial en pixeles.

$I_R(x, y)$: es la matriz de rojos de una imagen digital.

$I_R(x, y)$: es la matriz de verdes de una imagen digital.

$I_R(x, y)$: es la matriz de azules de una imagen digital.

En el equipo desarrollado, la imagen RGB es utilizada debido a que es obtenida en las cámaras digitales y se procesada por los algoritmos de reconocimiento de rostro por procesamiento de imágenes tales como: Histograma de gradientes orientados, conjunto de árboles de regresión, redes neuronales convolucionales y máquina de soporte vectorial.

2.4.2 ***Imagen en escala de grises***

Una imagen en escala de grises se considera una matriz de tamaño $M \times N$; donde el valor o amplitud de *I* en las coordenadas espaciales (x, y) da el nivel de gris de la imagen.

Puesto que la luz es una forma de energía, $I(x, y)$ debe ser positiva y finita (Alonso, 2009). El rango de valores de la imagen en escala de grises es mostrado en la ecuación (2.13).

$$0 < I(x, y) < 256 \tag{2.13}$$

Donde:

$I(x, y)$: es la intensidad del pixel en escala de grises.

Su representación matemática de la matriz $I(x, y)$ es mostrada en la ecuación (2.14).

$$I(x, y) = \begin{bmatrix} I(0,0) & I(0,1) & - & I(0, N-1) \\ I(1,0) & I(1,1) & - & I(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I(M-1,0) & I(M-1,1) & - & I(M-1, N-1) \end{bmatrix} \tag{2.14}$$

Donde:

M: es el número de filas.

N: es el número de columnas.

La conversión de una imagen RGB a escala de grises es utilizada en el preprocesamiento para el algoritmo de histograma de gradientes orientados (HOG) para la detección de rostros. Para la conversión, uno de los métodos más utilizados a través del promedio. Este implica obtener $I(x, y)$ a partir de las amplitudes I_R, I_G y I_B de cada coordenada espacial. La ecuación (2.15) muestra como es obtenido.

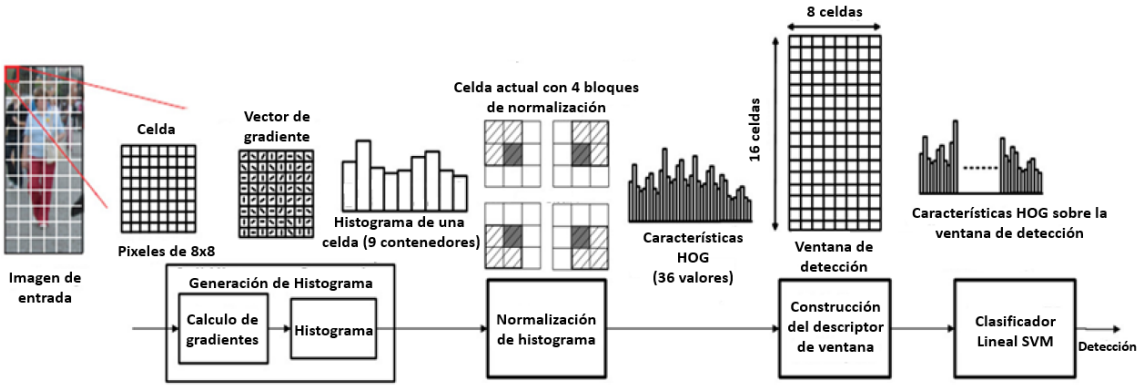
$$I(x, y) = round\left(\frac{I_R(x, y) + I_G(x, y) + I_B(x, y)}{3}\right) \tag{2.15}$$

*2.4.3 **Histograma de gradientes orientados (HOG)***

Es un descriptor usado para detección de objetos (rostros, personas, animales, entre otros) en el procesamiento de imágenes. El descriptor HOG cuenta ocurrencias de gradientes en porciones localizadas de una imagen. El diagrama de bloques del algoritmo desarrollado por Dalal y Triggs es mostrado en Figura 19.

Figura 19

Algoritmo de detección de objetos usando funciones HOG



Nota. Diagrama de bloques del algoritmo HOG para la detección de personas, el cual también se aplica para la detección de rostros. Adaptado de "An Energy-Efficient Hardware Implementation of HOG-Based Object Detection at 1080HD 60 fps with Multi-Scale Support", por Suleiman y Sze, 2016 (https://doi.org/10.1007/s11265-015-1080-7).

El algoritmo HOG implementado en el proyecto es la mostrada en Figura 19 aplicado a la detección de rostros. Para aplicarse el algoritmo debe ser preprocesada utilizando algoritmos para la conversión a escala de grises y de escalamiento a una resolución de 128x64. El funcionamiento detallado del algoritmo HOG es el siguiente:

1. **Cálculo de gradientes**: La imagen de entrada de 128x64, se divide en parches de 8x8 píxeles no superpuestos llamados celdas, donde se calculan los gradientes (magnitud y orientación) para cada píxel. Se utiliza las ecuaciones (2.18) y (2.19) para su cálculo, donde los valores de $G_x(x,y)$ y $G_y(x,y)$ se muestran en (2.16) y (2.17) (Singh, 2019).

$$G_x(x,y) = I(x+1,y) - I(x-1,y) \tag{2.16}$$

$$G_y(x,y) = I(x,y+1) - I(x,y-1) \tag{2.17}$$

Donde:

$G_x(x,y)$: es la gradiente del pixel en x.

$G_y(x,y)$: es la gradiente del pixel en y.

$$\emptyset = \text{atan}(\frac{G_y(x,y)}{G_x(x,y)}) \tag{2.18}$$

$$|G(x,y)| = \sqrt{(G_x(x,y))^2 + \left(G_y(x,y)\right)^2} \quad (2.19)$$

Donde:

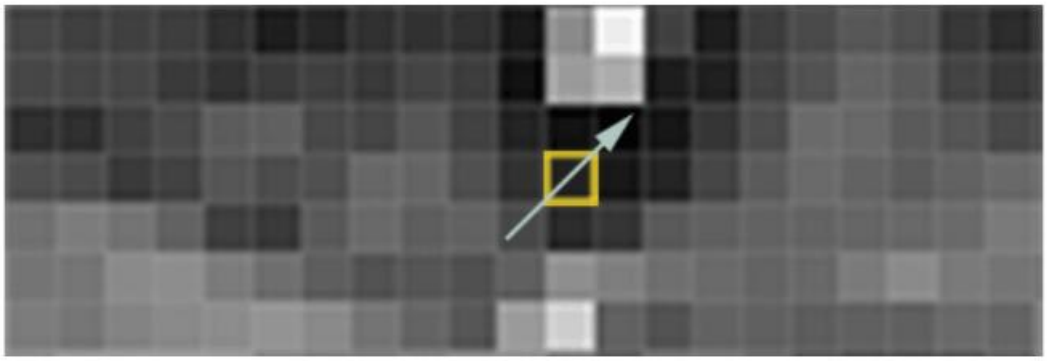
$|G(x,y)|$: es la magnitud de la gradiente del pixel.

∅: es la orientación (o dirección) del pixel en un cuadrante.

Un ejemplo de la obtención de la gradiente donde la orientación es hacia el pixel donde es más oscuro es mostrado en Figura 20.

Figura 20

Ejemplo gráfico de la obtención de la gradiente y magnitud



Nota. Gradiente aplicada a un pixel donde la dirección apunta al pixel más oscuro. Adaptado de "Machine Learning is Fun! Part 4: Modern Face Recognition with Deep Learning", por Geitgey, 2016 (https://medium.com/@ageitgey/machine-learning-is-fun-part-4-modern-face-recognition-with-deep-learning-c3cffc121d78).

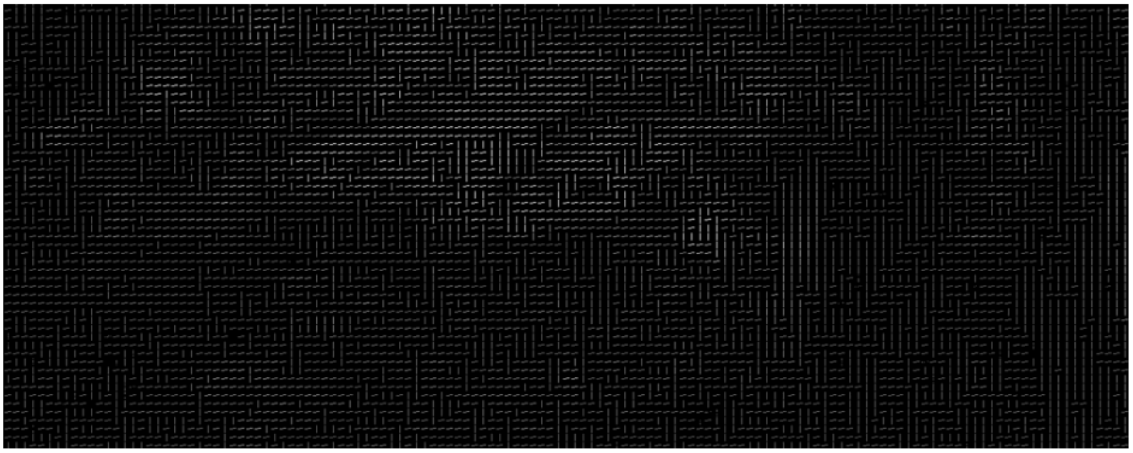
2. **Histograma**: Se genera el histograma de gradientes que contiene información sobre la distribución de los gradientes locales y su orientación, para ello se ejecuta los siguientes pasos:
   - **2.1. Agrupación de Orientaciones**: Las orientaciones del gradiente para cada píxel dentro de cada celda se agrupan en 9 compartimentos o bins, que cubren un rango de 0 a 180 grados (Dalal & Triggs, 2005), donde cada contenedor ocupa un rango de 20 grados.
   - **2.2. Acumulación del histograma**: Para cada celda, se construye un histograma de orientaciones que contabiliza la cantidad de gradientes pertenecientes a cada bin.

Esto implica acumular la contribución de cada gradiente presente en la celda en el bin correspondiente.

Un ejemplo de la obtención del histograma es mostrado en Figura 21.

Figura 21

Imagen HOG de un rostro



Nota. Imagen HOG del ojo de una persona. De "Machine Learning is Fun! Part 4: Modern Face Recognition with Deep Learning", por Geitgey, 2016 (https://medium.com/@ageitgey/machine-learning-is-fun-part-4-modern-face-recognition-with-deep-learning-c3cffc121d78).

3. **Normalización de Histograma**: Se normaliza el histograma por bloques para aumentar la solidez a la textura y la variación de la iluminación en la imagen de gradientes (imagen HOG). La normalización se realiza en bloques de 2x2 celdas (combinación de 4 celdas adyacentes), que da como resultado una característica final de 36 valores para cada bloque (Singh, 2019). El vector normalizado V_n es mostrado en la ecuación 2.20.

$$V_n = \left[\frac{a_1}{k}, \frac{a_2}{k}, \dots, \frac{a_{36}}{k}\right] \tag{2.20}$$

Donde:

k: La longitud euclidiana del vector de características del bloque.

$a_{1,2..,36}$: Valores del vector de características a normalizar.

4. **Construcción de descripción de ventana**: Se agrupan los vectores normalizados(descriptores) de cada bloque para formar el descriptor de ventana y para

obtener las características HOG (VI_n) compuestos por un total de 105x36x1 = 3780 valores.

$$VI_n = [ak_1, ak_2, \dots, ak_{3780}] \tag{2.21}$$

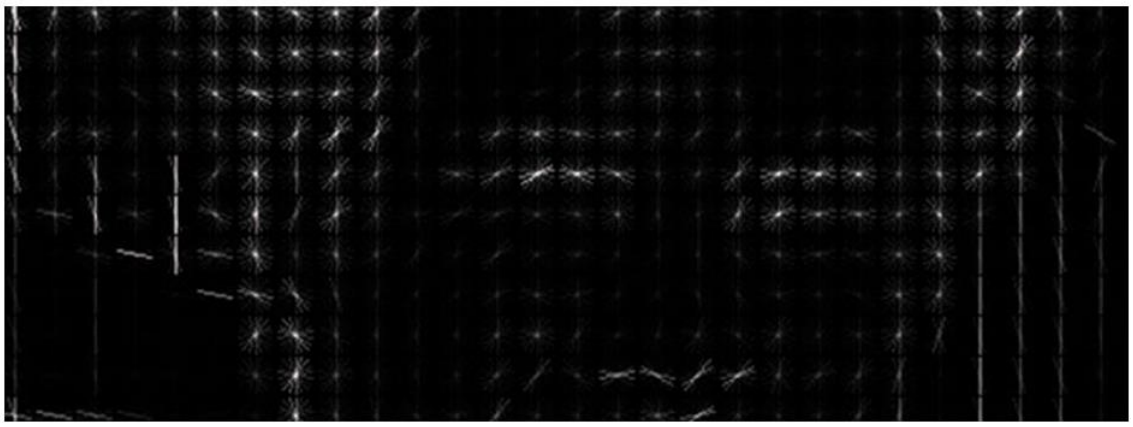
Donde:

$ak_{1,2..,36}$: Valores del vector de características normalizado.

Un ejemplo de descriptores agrupados es mostrado en Figura 22.

Figura 22

Imagen HOG donde se encuentran los descriptores agrupados de un rostro



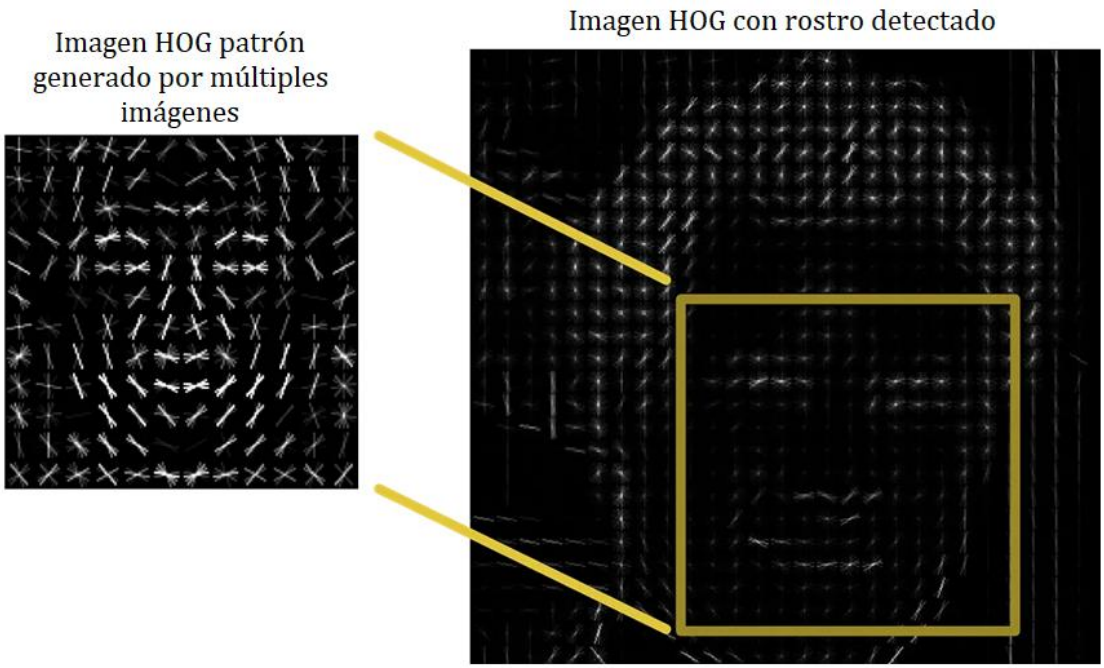
Nota. Es una imagen de ejemplo donde se ha aplicado la normalización de las gradientes y se visualiza los descriptores de ventana obtenidos. De "Machine Learning is Fun! Part 4: Modern Face Recognition with Deep Learning", por Geitgey, 2016 (https://medium.com/@ageitgey/machine-learning-is-fun-part-4-modern-face-recognition-with-deep-learning-c3cffc121d78).

5. **Clasificador lineal SVM**: Se aplica una máquina de soporte vectorial lineal (Linear SVM) entrenado a las características HOG (VI_n) para indicar la presencia de rostros en la imagen de entrada. La máquina de soporte vectorial es entrenada con múltiples imágenes positivas y negativas (con rostro y sin rostro, respectivamente). Para obtener las esquinas del rostro, se aplica un algoritmo utilizando distancia euclideana para encontrar las similitudes entra la imagen HOG obtenida y la imagen HOG patrón.

   En Figura 23, se visualiza una imagen HOG con rostro detectado.

Figura 23

Imagen HOG con rostro detectado a partir de la imagen HOG patrón



Nota. El rectángulo dibujado es el rostro detectado el cual incluye ojos, nariz, boca y cejas de la persona. Adaptado de "Machine Learning is Fun! Part 4: Modern Face Recognition with Deep Learning", por Geitgey, 2016 (https://medium.com/@ageitgey/machine-learning-is-fun-part-4-modern-face-recognition-with-deep-learning-c3cffc121d78).

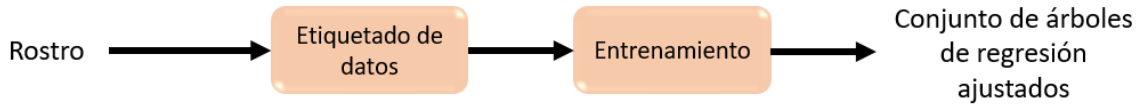
2.4.4 ***Conjunto de árboles de regresión***

El conjunto de árboles de regresión es un algoritmo de machine learning usado para estimar puntos de referencia faciales (landmarks) ubicados en: parte superior del mentón, el borde exterior de cada ojo, el borde interior de cada ceja, entre otros (Kazemi & Sullivan, 2014). La finalidad de este algoritmo es centrar el rostro a partir de los puntos de referencia para evitar errores en el reconocimiento causados por rostros que miran en diferentes direcciones (Geitgey, 2016).

Los diagramas de bloques usados para el entrenamiento y la inferencia son mostrados en Figura 24 y Figura 25 respectivamente.

Figura 24

Diagrama de bloques del entrenamiento del conjunto de árboles de regresión

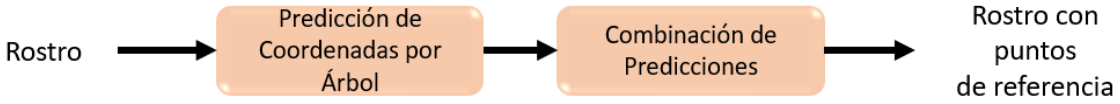


Descripción del algoritmo de entrenamiento del conjunto de árboles de regresión.

1. Etiquetado de datos: Se asocian etiquetas a rostros que están asociadas a las coordenadas (x, y) de los puntos de referencias faciales (Kazemi & Sullivan, 2014).
2. Entrenamiento: Se entrena el conjunto de árboles de regresión utilizando las características extraídas y las etiquetas de coordenadas de los puntos de referencia faciales (Kazemi & Sullivan, 2014).

Figura 25

Diagrama de bloques de la inferencia del conjunto de árboles de regresión



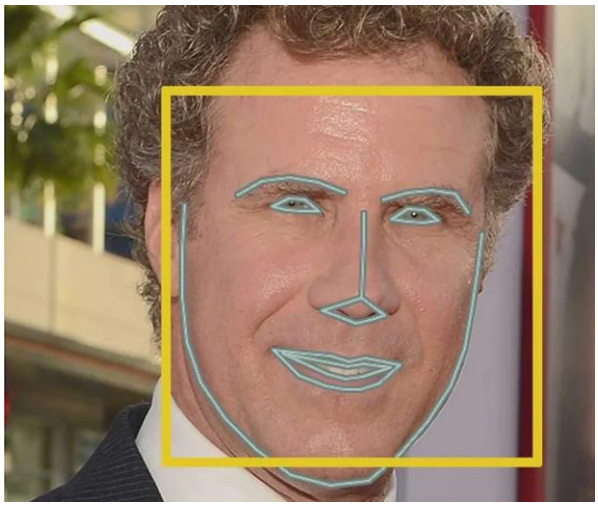
Descripción del algoritmo de la inferencia del conjunto de árboles de regresión:

1. Predicción de Coordenadas por Árbol: Cada árbol realiza una predicción basada en las características HOG (Kazemi & Sullivan, 2014).
2. Combinación de Predicciones: Las predicciones de todos los árboles se combinan para obtener una estimación de los puntos de referencias faciales (Kazemi & Sullivan, 2014).

Un rostro que se ha aplicado el conjunto de árboles de regresión es mostrado en Figura 26.

Figura 26

Rostro con los puntos de referencia



Nota. Se realizó la detección de rostro utilizado el algoritmo HOG y posteriormente se obtuvo los puntos de referencia usando el conjunto de árboles de regresión. De "Machine Learning is Fun! Part 4: Modern Face Recognition with Deep Learning", por Geitgey, 2016 (https://medium.com/@ageitgey/machine-learning-is-fun-part-4-modern-face-recognition-with-deep-learning-c3cffc121d78).

La instrucción en lenguaje Python para la estimación los puntos de referencia es la siguiente:

raw_landmarks = _raw_face_landmarks(face_image, known_face_locations, model)

Sus parámetros son:

- ✓ face_image: es la imagen a color de la persona.
- ✓ known_face_locations: Una lista de tuplas que contienen las ubicaciones de los rostros encontrados, en el siguiente orden: (arriba, derecha, abajo, izquierda).
- ✓ model: es una cadena de texto indica la cantidad de puntos de referencia del rostro. Solo toma 2 valores: 'small' para 5 valores y 'large' para 64 valores. Cantidades altas implica aumentar la carga computacional, sin embargo, mejora el desempeño de los algoritmos de rotación y escalamiento para alinear el rostro. Estos, a su vez, lidian de mejor manera con el problema de alineamiento de rostro de una imagen en el reconocimiento facial.

Retorna:

- ✓ raw_landmarks: Una lista de las ubicaciones de las características del rostro.

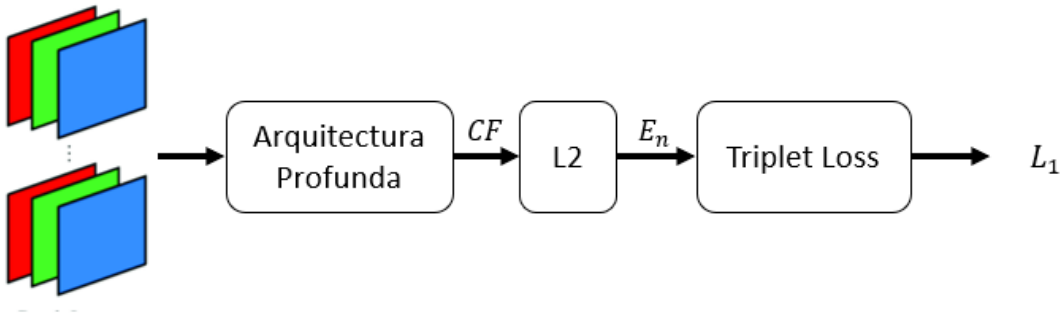
2.4.5 ***Red Neuronal Convolucional***

Las redes neuronales convolucionales (CNN) son un tipo de redes neuronales artificiales que se emplean para el análisis y reconocimiento de imágenes, entre otras aplicaciones (Gelvez, 2019).

Una arquitectura de la red neuronal convolucional utilizada para el reconocimiento facial es "FaceNet", que fue publicada en 2015 por investigadores de Google Schroff et al. (2015). Para el correcto funcionamiento de esta red se requiere imágenes de múltiples personas en el entrenamiento. Este está compuesto por una red neuronal convolucional profunda, cuya salida es normalizada y clasificada para obtener 128 valores numéricos que identifican a la persona. El diagrama de bloques de "FaceNet" es mostrada en Figura 27.

Figura 27

Arquitectura de una red neuronal convolucional



Nota. El diagrama de bloques fue traducido al español. Adaptado de "Model structure. Our network consists of a batch input layer and a deep CNN followed by L2 normalization, which results in the face embedding. This is followed by the triplet loss during training.", por Schroff et al., 2015 (https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298682).

Las partes de la arquitectura de la red neuronal convolucional son:

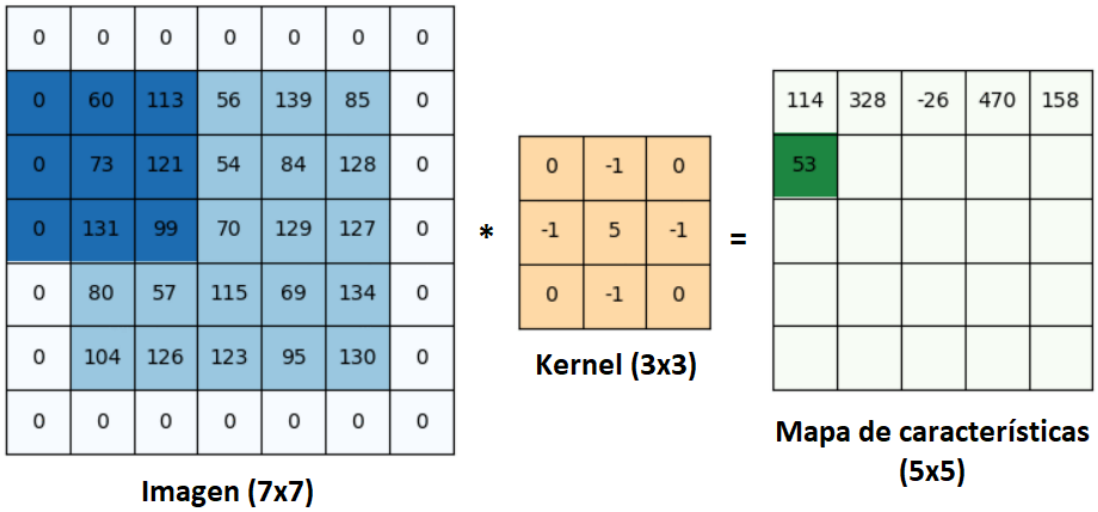
1. **Arquitectura Profunda:** Es la red neuronal convolucional usada para extraer características faciales relevantes de la imagen de entrada. La red neuronal convolucional consta de múltiples capas de convolución, activación y agrupación(pooling) que procesan la imagen a diferentes niveles de abstracción. Los componentes principales son:

- **Capas convolucionales:**

Las capas convolucionales implican aplicar filtros a la imagen de entrada para generar un nuevo mapa de características que resalta la presencia de características en la imagen original. Los tamaños más comunes son 3x3, 5x5 y 7x7, aunque también se utilizan otros tamaños según el problema y la arquitectura de la red. Un kernel de mayor tamaño implica capturar características más grandes, reducir agresivamente el tamaño y mayor carga computacional. Un ejemplo es mostrado en Figura 28.

Figura 28

Ejemplo de convolución aplicada a una imagen



Nota. La imagen está representada matricialmente. Adaptado de "What is the Convolutional Neural Network Architecture?", por Ratan, 2023 (https://www.analyticsvidhya.com/blog/2020/10/what-is-the-convolutional-neural-network-architecture/).

- **Capas de pooling:**

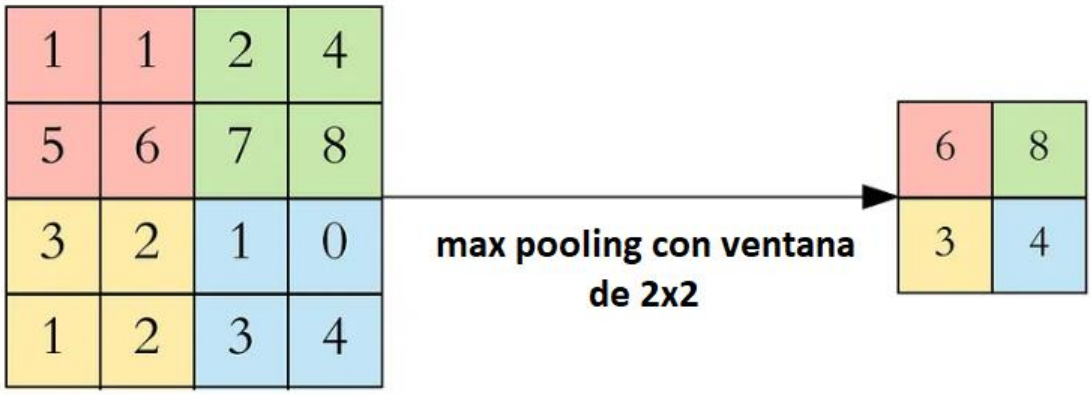
Las capas de pooling implicar aplicar opcionalmente una capa que reduce el tamaño espacial de la imagen reduciendo la cantidad de información y los parámetros en la red. Esta capa ayuda a hacer que la red sea más robusta ante pequeñas traducciones o desplazamientos en la imagen. Los tipos de pooling más utilizados en redes neuronales convolucionales son: Max Pooling y Average Pooling.

El Max Pooling selecciona el valor máximo dentro de una región de la imagen y descarta el resto, por otro lado, el Average Pooling selecciona el promedio dentro de la región de la

imagen. Los tamaños de ventana (o kernel) son configurables y los más comunes para ambas operaciones son 2x2 y 3x3. Un tamaño mayor de kernel implica comprimir aún más la información, por lo tanto, reduce la carga computacional, no obstante, también puede llevar a una pérdida más significativa de la información final en los detalles. Un ejemplo es mostrado en Figura 29.

Figura 29

Ejemplo de Max Pooling aplicado a una imagen



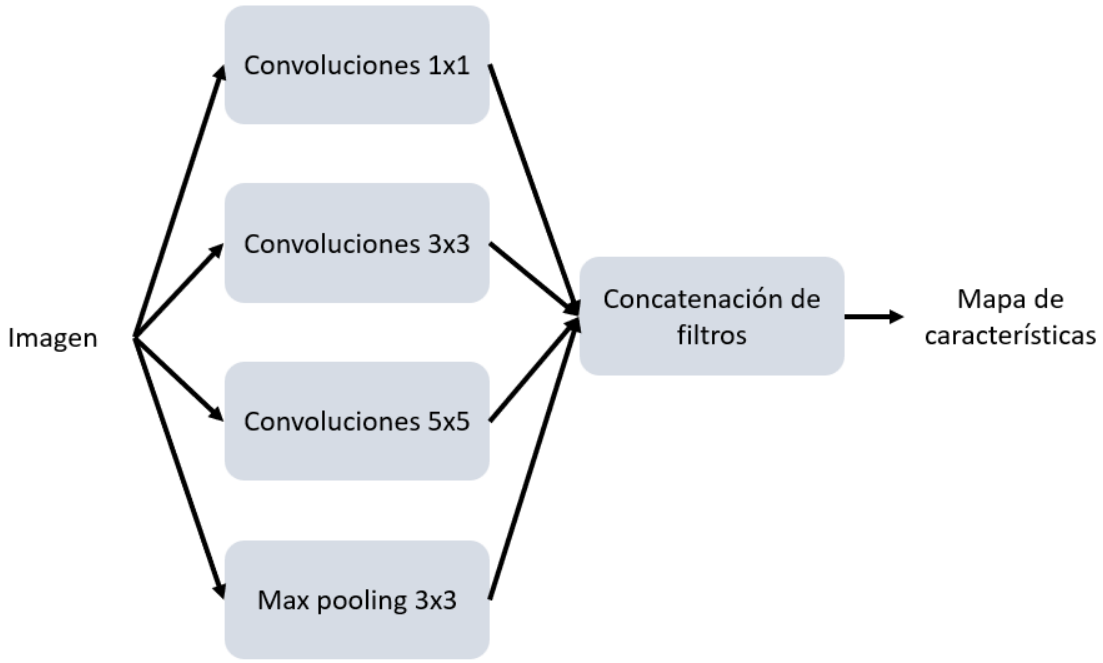
Nota. Se ha traducido el texto a español. Adaptado de "Applied Deep Learning - Part 4: Convolutional Neural Networks", por Dertat, 2017 (https://towardsdatascience.com/applied-deep-learning-part-4-convolutional-neural-networks-584bc134c1e2).

- **Módulos inception:**

Los módulos inception implica aplicar múltiples operaciones de convolución de manera paralela y luego concatenar las salidas resultantes. Esto permite crear una red neuronal con profundidad considerable, pero con una cantidad de parámetros relativamente baja que resuelve el problema de la carga computacional, así como el sobreajuste(memorizar datos en vez de aprender patrones), entre otras cuestiones. El diagrama de bloques de la versión básica del módulo inception es mostrado en Figura 30.

Figura 30

Diagrama de bloques de la versión básica del módulo inception



Nota. El diagrama de bloques fue traducido a español. Adaptado de "Inception module, naive version" por Szegedy et al., 2014 (https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.4842).

2. **Normalización (L2):** La normalización se utiliza para la regularización de los vectores de incrustación facial que tiene como objetivo forzar que los vectores de incrustación tengan una norma (longitud) fija o máxima específica. Esto asegura que las características faciales tengan una cierta escala y, por lo tanto, sean comparables en términos de similitud. El vector normalizado es mostrado en la ecuación (2.22)

$$E_n = \frac{CF}{\sqrt{\sum_{i=1}^{nd} CF_i^2}} \tag{2.22}$$

Donde:

CF: Es el vector de características faciales obtenidas de la red neuronal convolucional.

E_n: Es el vector de características faciales normalizado también conocido como vector de embedding.

nd: Es la dimensionalidad del vector, su valor es 128 en 'FaceNet'.

3. **Triplet loss**:

Es una función de pérdida diseñada para entrenar una red neuronal de manera que aprenda a representar imágenes de caras de manera efectiva en un espacio de características(embeddings). El objetivo principal es crear un espacio de características donde las características faciales de una persona sean muy similares entre sí y muy diferentes de las de otras personas.

Los componentes del "Triplet loss" llamados 'triplets' son:

- La "imagen ancla" (Anchor): Es el vector de embedding de una persona cuya representación facial queremos aprender.
- La "imagen positiva" (Positive): Es el vector de embedding de la misma persona que la imagen ancla. Las imágenes ancla y positiva deben ser de la misma persona.
- La "imagen negativa" (Negative): Es el vector de embedding de una persona diferente de la imagen ancla. La imagen negativa es diferente de la imagen ancla y se usa para aumentar la distancia entre las representaciones faciales de personas diferentes.

El funcionamiento del Triplet loss es mostrado en
Figura 31. Cabe resaltar que se tomó una captura de pantalla de Schroff et al. (2015) y se realizaron modificaciones en la imagen para adaptarla a este trabajo.

Figura 31

Funcionamiento visual del Triplet Loss

Nota. Este proceso se realiza durante el entrenamiento. Adaptado de "FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering", por Schroff et al., 2015 (https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298682).

La instrucción en lenguaje Python para la inferencia de la red con arquitectura 'FaceNet' es la siguiente:

face_encoder.compute_face_descriptor(face_image, raw_landmark_set, num_jitters)

Sus parámetros son:

- ✓ face_image: es la imagen a color de la persona.
- ✓ raw_landmark_set: Una lista de las ubicaciones de las características del rostro.
- ✓ num_jitters: Cuántas veces volver a muestrear la cara al calcular la codificación. Valores altos implica mayor precisión en la codificación, pero requiere mayor tiempo de procesamiento.

Retorna:

- ✓ Una lista de codificaciones de caras de 128 dimensiones (una para cada cara en la imagen).

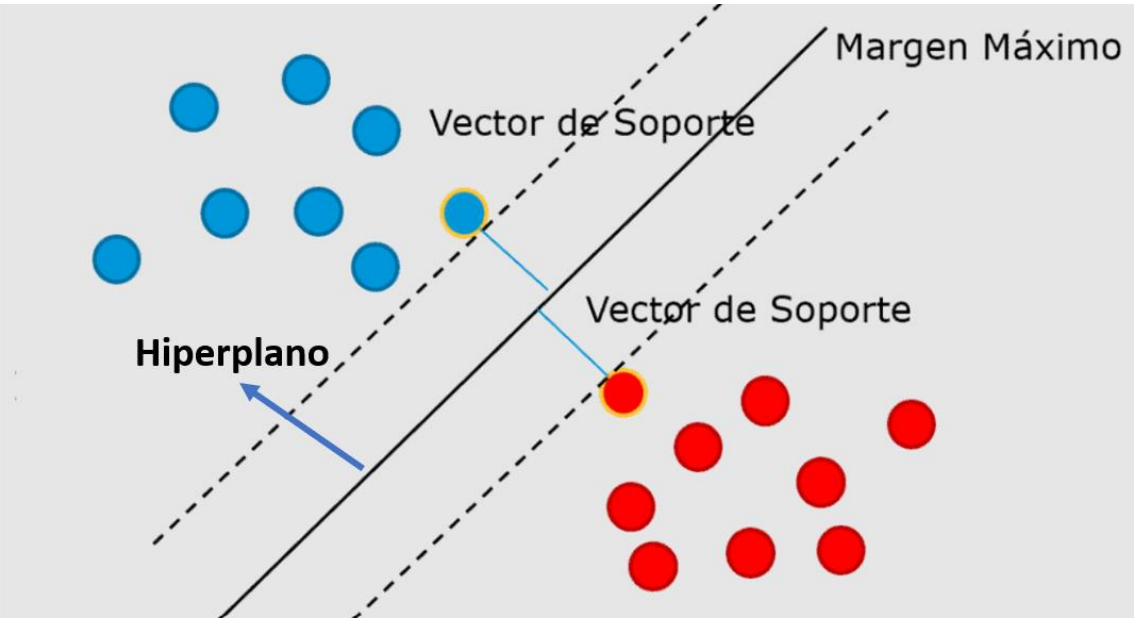
*2.4.6 **Máquina de Soporte Vectorial***

La máquina de soporte vectorial (SVM) es un algoritmo de aprendizaje supervisado utilizado en muchos problemas de clasificación y regresión. Su objetivo es encontrar el hiperplano (superficie de separación) con el margen máximo entre las dos clases que permita diferenciar los datos de entrada de la mejor manera posible. Los vectores de soporte son puntos multi-

dimensionales que definen el margen máximo de separación con el hiperplano (Resendiz, 2006). Los principales elementos del SVM son mostrados en Figura 32**.**

Figura 32

Elementos de la máquina de soporte vectorial



Nota. Máquina de soporte vectorial aplicado para clasificar 2 clases. Adaptado de "Linear Regression, Logistic Regression, SVM", por Jose Martinez, 2019, 30:55 (https://www.youtube.com/watch?v=_5lsmWpA5IU&list=PLjai7zNYchWMJuV46s6XOIURPA3dDkooG).

En su forma más básica, las SVM no son capaces de clasificar de manera nativa en múltiples clases. En cambio, están diseñadas para clasificar en binario, es decir, separar los puntos de datos en dos clases. Para clasificar en múltiples clases, se aplica el mismo principio, pero se descompone el problema en varios problemas de clasificación binaria.

Existen casos que las clases no son linealmente separables por lo que se requiere utilizar un kernel. Este es una función que asigna los datos a un espacio dimensional diferente para encontrar un hiperplano (curvo o no lineal) que permita separar las clases (Baeldung, 2022).

Los tipos de kernel más comunes son:

- Lineal

El kernel lineal es una función de transformación utilizada en SVM para mapear los datos a un espacio de mayor dimensión mediante un producto escalar simple entre dos puntos de datos. La ecuación (2.23) representa el kernel lineal.

$$K(x_1, x_2) = {x_1}^T . x_2 \tag{2.23}$$

Donde:

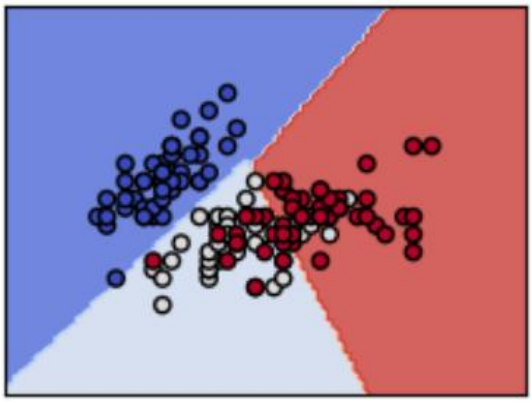
x_1: vector 1 de características en el espacio original.

x_2: vector 2 de características en el espacio original.

Un ejemplo de SVM con kernel lineal para la clasificación de 3 clases es mostrado en Figura 33.

Figura 33

SVM con kernel lineal para la clasificación de 3 clases



Nota. Las clases se distinguen por el color (azul, blanco y rojo). Adaptado de "1.4. Support Vector Machines", por Scikit-learn, 2023 (https://scikit-learn.org/stable/modules/svm.html).

Este kernel es adecuado cuando se sospecha que los datos pueden ser separados por una frontera lineal, como una línea o un hiperplano, en el espacio de mayor dimensión.

- Polinómico

El kernel polinómico es otra función de transformación utilizada en SVM que mapea los datos a un espacio de mayor dimensión mediante combinaciones de productos escalares y potencias. La ecuación (2.24) representa la forma general del kernel polinómico.

$$K(x_1, x_2) = (x_1{}^T . x_2 + 1)^{\rho} \quad (2.24)$$

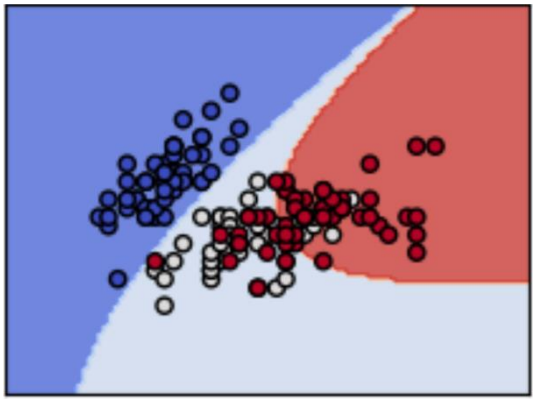
Donde:

ρ: Es el orden del polinomio.

Un ejemplo de SVM con kernel polinómico de orden 3 para la clasificación de 3 clases es mostrado en Figura 34.

Figura 34

SVM con kernel polinómico de orden 3 para la clasificación de 3 clases



Nota. Las clases se distinguen por el color (azul, blanco y rojo). Adaptado de "1.4. Support Vector Machines", por Scikit-learn, 2023 (https://scikit-learn.org/stable/modules/svm.html).

El kernel polinómico es útil cuando se sospecha que los datos no pueden ser separados por una frontera lineal, y se busca una frontera de decisión más compleja y no lineal en el espacio de mayor dimensión.

- Gaussiano o función de base radial (RBF)

El kernel RBF, o función de base radial, es un kernel popular en SVM que mapea los datos a un espacio de infinitas dimensiones. La ecuación (2.25) representa la forma general del kernel RBF.

$$K(x_1, x_2) = \exp\left(-\frac{||x_1 - x_2||^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.25)$$

Donde:

σ: es el coeficiente Kernel.

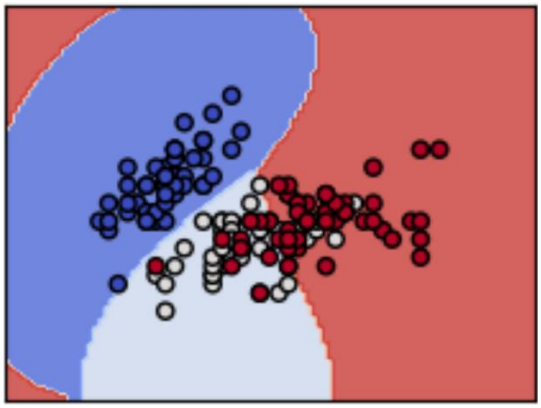
Al introducir un nuevo parámetro γ=1/(2σ^2), se obtiene la ecuación (2.26).

$$K(x_1, x_2) = \exp(-\gamma \times \left||x_1 - x_2|\right|^2) \quad (2.26)$$

Un ejemplo de SVM con kernel RBF para la clasificación de 3 clases es mostrado en Figura 35.

Figura 35

SVM con kernel RBF para la clasificación de 3 clases



Nota. Las clases se distinguen por el color (azul, blanco y rojo). Adaptado de "1.4. Support Vector Machines", por Scikit-learn, 2023 (https://scikit-learn.org/stable/modules/svm.html).

El kernel RBF es adecuado para separar datos que no son linealmente separables, ya que puede capturar fronteras de decisión más complejas y no lineales en el espacio de infinitas dimensiones; por esta razón este es el kernel apropiado para implementarse en el algoritmo de reconocimiento de rostro.

La instrucción en lenguaje Python que configura el kernel para el entrenamiento de la SVM es la siguiente:

clf = SVC (gamma='scale')

Su parámetro es:

Gamma: {'scale', 'auto'} or float, default='scale'

- Si se pasa gamma='scale' (predeterminado), entonces usa 1 / (n_features * X.var()) como valor de gamma. "n_features" es el número de características y X.var() es la varianza de los datos de entrada.
- Si es 'auto', usa 1 / n_features.

- Si es flotante, debe ser no negativo.

2.5 Comentarios finales del capítulo

- En este capítulo se mencionaron los conceptos más importantes relacionados al trabajo desarrollado.
- Los conceptos de alcohol en el control de alcoholemia son la base teórica que será aplicada en los capítulos 3, 4 y 5.
- Los conceptos del equipo de medición de alcohol son la base teórica del desarrollo del hardware del proyecto presentado en el capítulo 3.
- Los conceptos de reconocimiento de rostro son la base teórica del desarrollo del software del proyecto presentado en el capítulo 4.

3. Capítulo 3: Descripción del hardware propuesto

3.1 Introducción

En el presente capítulo, se describe el proceso de implementación del hardware requerido para el desarrollo del equipo empleado en el control automático de alcohol. Este equipo está conformado por una estructura donde alberga una pantalla, cámara y sensores de sonido y alcohol conectadas a un computador de placa reducida, en donde se realiza la adquisición de las señales del soplido, nivel de alcohol y de la imagen. Luego la información será enviada al ordenador a través de una red LAN para que ejecutar el algoritmo de reconocimiento de rostro y almacenar en una base de datos.

3.2 Materiales y componentes

En esta sección se describen los principales componentes utilizados para el desarrollo del proyecto; asimismo se justifica su elección al compararlos con otros componentes similares.

3.2.1 Sensor de flujo de aire

El sensor de flujo de aire es requerido para corroborar que la persona ha utilizado el equipo. Para elegir el sensor idóneo se ha considerado 3 sensores: sonido, oxígeno y presión. En la Tabla 8 se muestra la comparación entre los sensores propuestos.

Tabla 8

Comparación entre los sensores para la detección de flujo de aire

	Sonido (Electret)	**Oxígeno (ME2-O2-Φ20)**	**Presión (BMP180)**
Características			
Voltaje de operación	3- 10V	3.3 – 5V	3.3 – 5V
Corriente máxima	0.5mA	0.14mA	1 mA

Tiempo de respuesta	< 10 ms	< 30 s	76.5 ms
Temperatura de operación	-20 - 70°C	-20 – 50°C	-40 – 85°C
Humedad de operación	40 – 90%RH	0 – 99%RH	0 – 99%RH
Disponible en el mercado nacional	Sí	No	Sí
Precio	S/. 0.50	S/. 218.00	S/. 20.00

A partir de la comparación mostrada en la Tabla 8, se eligió el sensor de sonido (electret) principalmente debido a su disponibilidad, bajo costo y reducido tiempo de respuesta. Asimismo, el voltaje de operación y la corriente máxima están en el rango permitidos para ser conectados con el computador de placa reducida. Finalmente, la temperatura y humedad de operación están en los rangos requeridos para su funcionamiento en la estructura desarrollada.

*3.2.2 **Sensor de alcohol***

El sensor de alcohol es requerido para estimar el nivel alcohólico de la persona. Para elegir el sensor idóneo se han considerado 2 sensores de alcohol: MQ3 y MQ303A. En la Tabla 9 se muestra la comparación entre los sensores propuestos.

Tabla 9

Tabla de comparación de sensores de alcohol

	Sensor MQ3	**Sensor MQ303A**
Características		
Voltaje de operación	5±0.1 V	5V
Máxima corriente	150mA	140mA

Temperatura de operación	-20 – 70 °C	-20 – 70°C
Humedad de operación	0 – 95%RH	<70%RH
Tiempo de respuesta	< 10 s	< 10 s
Sensibilidad	< 0.6 Ω	0.5 ±0.15 Ω
Rango de operación	0.05 – 10 mg/L	0.02 – 18.4 mg/L
Adquirible en el mercado nacional	Sí	No
Precio	S/. 15.00	S/. 11.00

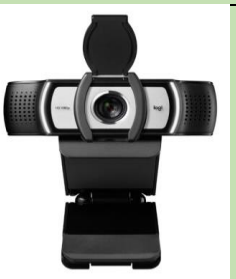
A partir de la comparación mostrada en la Tabla 9, se eligió el sensor MQ3 debido a su alta sensibilidad y la fácil adquisición en el mercado nacional. Asimismo, el pico de humedad de operación lo hace idóneo para el contacto con el aire del soplido. Sí bien el consumo de energía mayor al sensor MQ303A, este no es relevante para el proyecto debido a que el equipo es estático y estará enchufado.

*3.2.3 **Cámara***

La toma de fotos es requerida para el algoritmo de reconocimiento de rostro. Para elegir el componente idóneo se han considerado la cámara Logitech c920e y la cámara V2.1 del Raspberry PI. En la Tabla 10 se muestra la comparación entre los sensores propuestos.

Tabla 10

Características de cámaras

	Logitech C930e	**Cámara V2 Raspberry 8Mpx**
Características		
Resolución	Hasta 15 MP (por software) 1920x1080 (2MP)	Hasta 8Mpx

Video	1080p30	1080p30 720p60 640x480p90
Campo de visión	90°	73.8°
Dimensiones	43 mm x 94 mm x 71 mm (altura variable)	25mm x 23mm x 9 mm
Conector	Cable USB-A de 150 mm (comunicación y alimentación)	Cable plano flexible CSI
Precio	S/. 365.00	S/. 190.00

A partir de la comparación mostrada en la Tabla 10, se seleccionó la cámara Logitech c930e debido a su alta resolución, enfoque automático y amplio campo de visión que lo hace adecuado para la adquisición del rostro.

3.2.4 ***Dispositivo informático.***

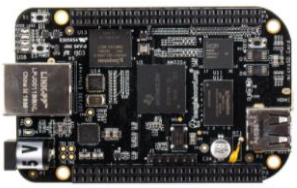
El dispositivo informático es requerido para la ejecución de los algoritmos del equipo. Se requiere 2 dispositivos: el ordenador y el computador de placa reducida.

3.2.4.1 Computador de placa reducida

El computador de placa reducida es requerido para, a través de sensores y cámaras, adquirir el nivel de alcohol producido por el soplido; asimismo, permite la visualización de la información y la ejecución del algoritmo de procesamiento de datos. Para elegir al componente idóneo, se ha considerado el Raspberry PI4 y el Beaglebone. En la Tabla 11 se muestra la comparación entre los componentes propuestos.

Tabla 11

Características del Raspberry PI 4 y Beaglebone

	Raspberry Pi 4	**Beaglebone**
Características		

Procesador	ARM Cortex-A72(1.5Ghz – 2Ghz)	AM3358 ARM Cortex-A8 (0.7 – 1.8Ghz)
RAM	1/2/4 GB LPDDR4	512 MB DDR3
Bluetooth	Sí	No
Wifi	Sí	No
Puertos	40 pines GPIO 4 puertos USB Puerto HDMI Puerto SCI Puerto DSI Slot micro SD Puerto micro USB	92 pines 1 puerto USB Puerto HDMI Slot micro SD Puerto micro USB
Precio	S/. 400.00	S/. 290.72

A partir de la comparación mostrada en la Tabla 11, Se escogió la Raspberry PI4 debido a que cuenta con 4GB de RAM 4 puertos USB y 2 puertos HDMI que permiten conectar periféricos tales como cámara web, teclado, mouse y pantalla LCD para el desarrollo del equipo. Otras características adicionales del Raspberry PI 4 son la velocidad de procesamiento de 1.5GHz por núcleo, la conexión WIFI/ Bluetooth y sus 4GB de RAM que facilitaron el desarrollo del equipo.

3.2.4.2 Ordenador

El componente encargado de ejecutar el algoritmo de reconocimiento de rostro es el ordenador debido que el algoritmo requiere de mucho procesamiento que el Raspberry PI 4 no puede ejecutar adecuadamente. Existen muchos ordenadores que pueden realizar esta función y pueden ser comparados, es por ello que se utiliza el ordenador ASUS VIVOBOOK 15, el cual tiene un procesador Intel I7 de 11va generación y es asequible por los autores.

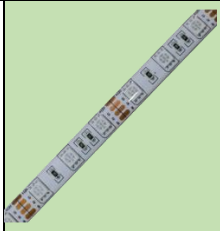
*3.2.5 **Iluminación***

La iluminación es requerida para iluminar el rostro en ambientes oscuros o de poca luz con el fin de reducir el error en el algoritmo de reconocimiento de la persona. Para elegir el

componente idóneo se ha considerado la tira de leds RGB y blanco. En la Tabla 12 se comparan los sensores propuestos.

Tabla 12

Características de tiras de led consideradas

	Tira de leds RGB 12V	**Tira de leds blanco 12V**
Características		
Chip	SMD5050	SMD3014
LED/metro	60 Led/m	120 Led/m
W/metro	14.4W/m	12 W/m
Lm/metro	1200Lm/m	960 Lm/m
Precio (metro)	S/. 11.00	S/. 8.28

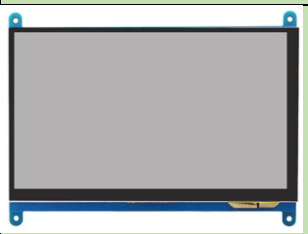
A partir de la comparación mostrada en la Tabla 12 se eligió la tira de leds RGB debido a que tiene mayor cantidad de lúmenes por metro que permite iluminar mejor el rostro. Asimismo, permite cambiar el color para indicar la detección de alcohol.

*3.2.6 **Visualización de resultados***

La visualización de resultados es requerida para que el usuario pueda utilizar el equipo y corroborar que la información obtenida del control de alcoholemia sea la correcta. Para elegir el componente idóneo se consideraron dispositivos compatibles con el Raspberry PI 4 que son mostrados en la Tabla 13.

Tabla 13

Características de pantallas LCD compatibles con el Raspberry PI

	Pantalla LCD Táctil 7''	**Pantalla LCD Táctil 3.5”**
Características		
Tamaño de pantalla	7”	3.5”
Resolución de hardware	1024 x 600	480 x 320
Tipo de pantalla táctil	Capacitivo	Resistivo
Dimensiones de la placa(mm)	166.5 x 124.12 x 23.8	86 x 55 x 20
Peso(g)	380	120
Precio	S/. 289	S/. 100

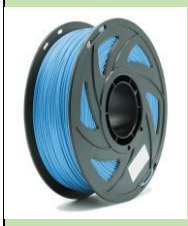
A partir de la comparación mostrada en la Tabla 13, se eligió la pantalla LCD táctil de 7 pulgadas debido a su mayor tamaño y a su mejor tecnología de pantalla táctil, los cuales facilitan al usuario al uso del equipo.

*3.2.7 **Material de la estructura***

La estructura permite la operatividad, albergar el hardware y el sistema de detección facial y soplido para la detección de alcohol; que son mencionadas en el capítulo 1. Para elegir el material idóneo para el case se han considerado el PLA, la Resina y el filamento de aluminio. Estas son comparadas en la Tabla 14.

Tabla 14

Comparación de materiales para la estructura

	Filamento PLA	Resina	Filamento de aluminio
Características			
Aplicación	Prototipos y piezas de bajo estrés.	Joyería, prototipos detallados y piezas de alta precisión.	Industria aeroespacial, la automoción, la odontología
Disponibilidad	Muchas tiendas en línea, proveedores especializados y distribuidoras de impresiones 3D	Proveedores especializados y fabricantes de resinas	Algunas tiendas en línea y Proveedores especializados
Costo	S/. 58.00	S/. 100.00	S/. 180.00

A partir de la comparación mostrada en la Tabla 14, se eligió el PLA debido a que es un material fácil de adquirir y de bajo costo; asimismo el hardware del proyecto requiere de bajo estrés.

Por otro lado, el material elegido para el soporte es el metal debido a que se somete a mucho estrés(tensión) generado por el peso del case y el hardware albergado en él, cómo la pantalla LCD, Raspberry PI, Cámara, fuentes de alimentación, entre otros.

3.3 **Diseño e implementación de la estructura y la electrónica del dispositivo**

En Figura 36 se presenta el diagrama de bloques del hardware utilizado en el equipo desarrollado. En Figura 37 se presenta el diagrama de bloques de la red LAN desarrollada.

Figura 36

Diagrama de bloques del hardware del equipo desarrollado

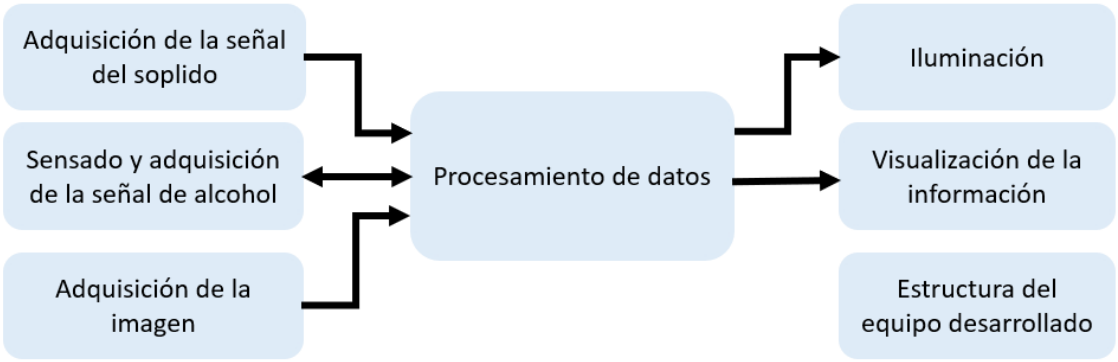
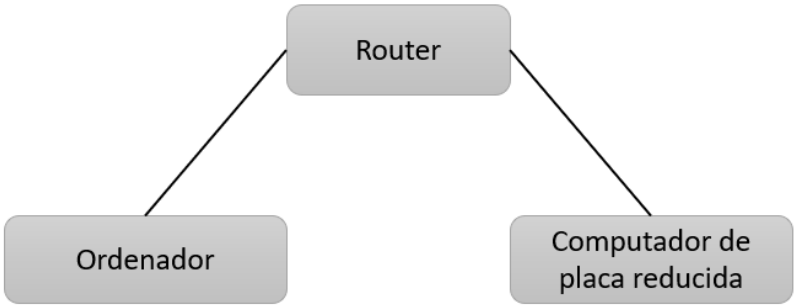


Figura 37

Diagrama de bloques de la red LAN



A continuación, se explicará el funcionamiento de cada etapa:

*3.3.1 **Estructura del equipo desarrollado***

Consiste en el recinto prototipo desarrollado a través del software Rhinoceros en donde se ubican los componentes y están conectados. Para el diseño de la estructura se consideró la distancia de la cámara con respecto al rostro, la ubicación de la tira de led, la distancia entre los sensores y el orificio de desplazamiento del aire. Estos con el fin de detectar el flujo de aire, estimar el nivel de alcohol de manera apropiada para la aplicación e iluminar y enfocar el rostro.

La estructura desarrollada tiene principalmente 2 partes: El case y el soporte.

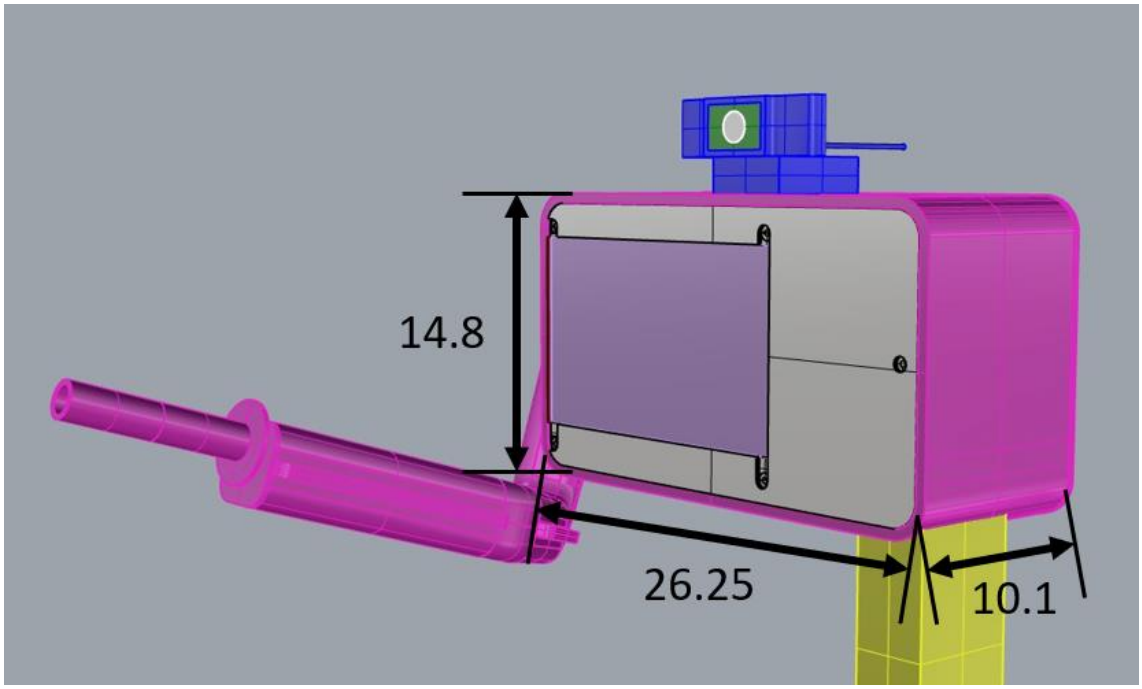
1. **Case**

El case principalmente consiste de 2 piezas impresas en 3d con filamento PLA, el cual es un termoplástico inodoro, resistente a la humedad y biodegradable:

- La primera pieza tiene forma de caja, con medidas de 26.25 cm x 10.1 cm x 14.8 cm. Esta permite la ubicación de algunos componentes (pantalla LCD táctil de 7 pulgadas, cámara web Logitech C930e, Raspberry PI 4 y fuentes de alimentación) y permite unir con la segunda pieza. La primera pieza es mostrada en Figura 38.

Figura 38

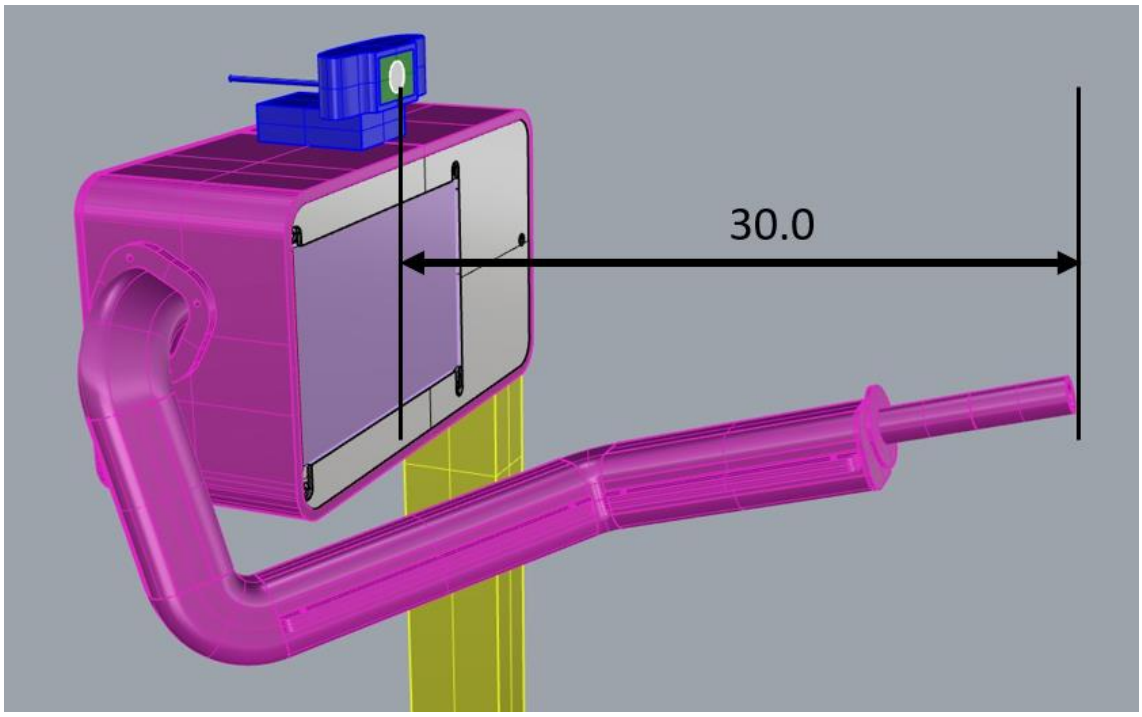
Vista del case con las medidas de la caja



- La segunda pieza tiene forma de brazo, el cual permite la ubicación de los sensores y contiene un tubo y orificio por donde se realizará el soplido; la distancia entre la cámara y el tubo es de 30 cm el cual permite el registro del rostro en su totalidad. Esta se muestra en Figura 39**.**

Figura 39

Vista del case que muestra la distancia de la cámara al tubo donde se exhala



2. Soporte

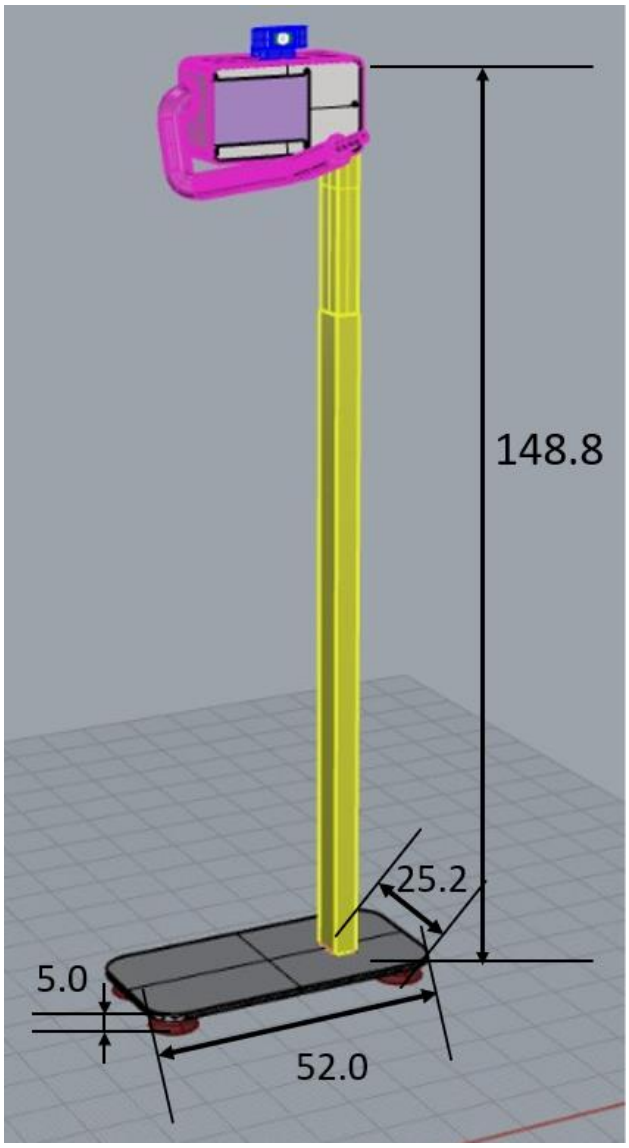
El soporte consta principalmente de 3 piezas de metal debido a que se requiere de un material duro que permita el soporte del case y a los dispositivos electrónicos ensamblados al case:

- La primera pieza es el parante movible y está conectada con la primera pieza de la parte superior (carcasa en forma de caja)
- La segunda pieza es el parante estático que está unido con la base. El parante estático permite ajustar y desajustar el parante móvil cuando sea requerido cambiar la altura de la estructura.
- La tercera pieza en la base que está unido con la segunda pieza (parante estático) que permite fijar el equipo.

Las principales medidas del soporte son mostradas en Figura 40.

Figura 40

Recinto completo en Rhinoceros con las medidas principales del soporte (base y parante)



3. Medidas de estructura completa

En Figura 41, Figura 42 y Figura 43 se muestran las vistas frontal, superior y lateral respectivamente de la estructura completa (case y soporte) con sus medidas.

Figura 41

Estructura del equipo desarrollado usando el software Rhinoceros (vista frontal)

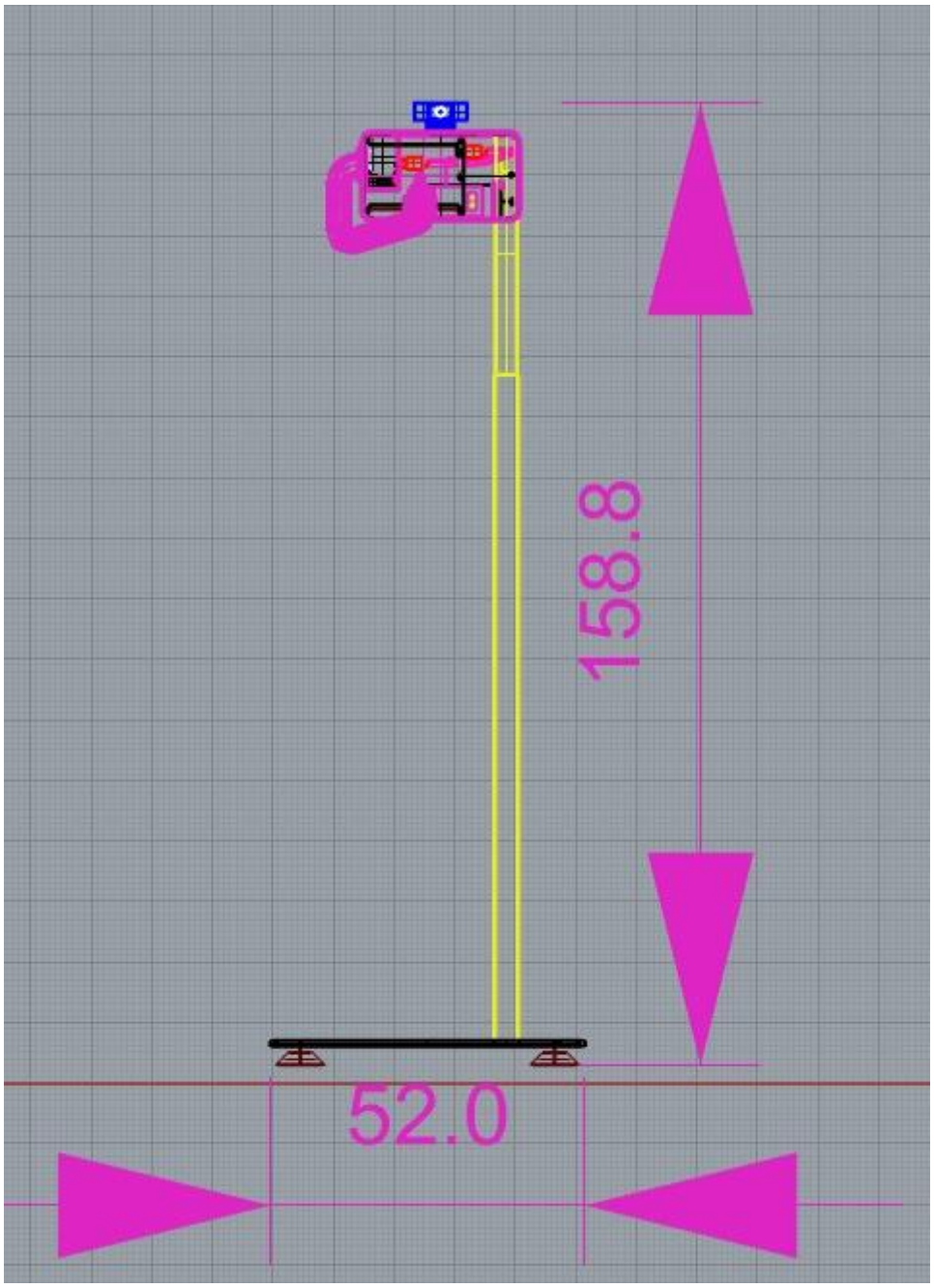


Figura 42

Estructura del equipo desarrollado usando el software Rhinoceros (vista superior)

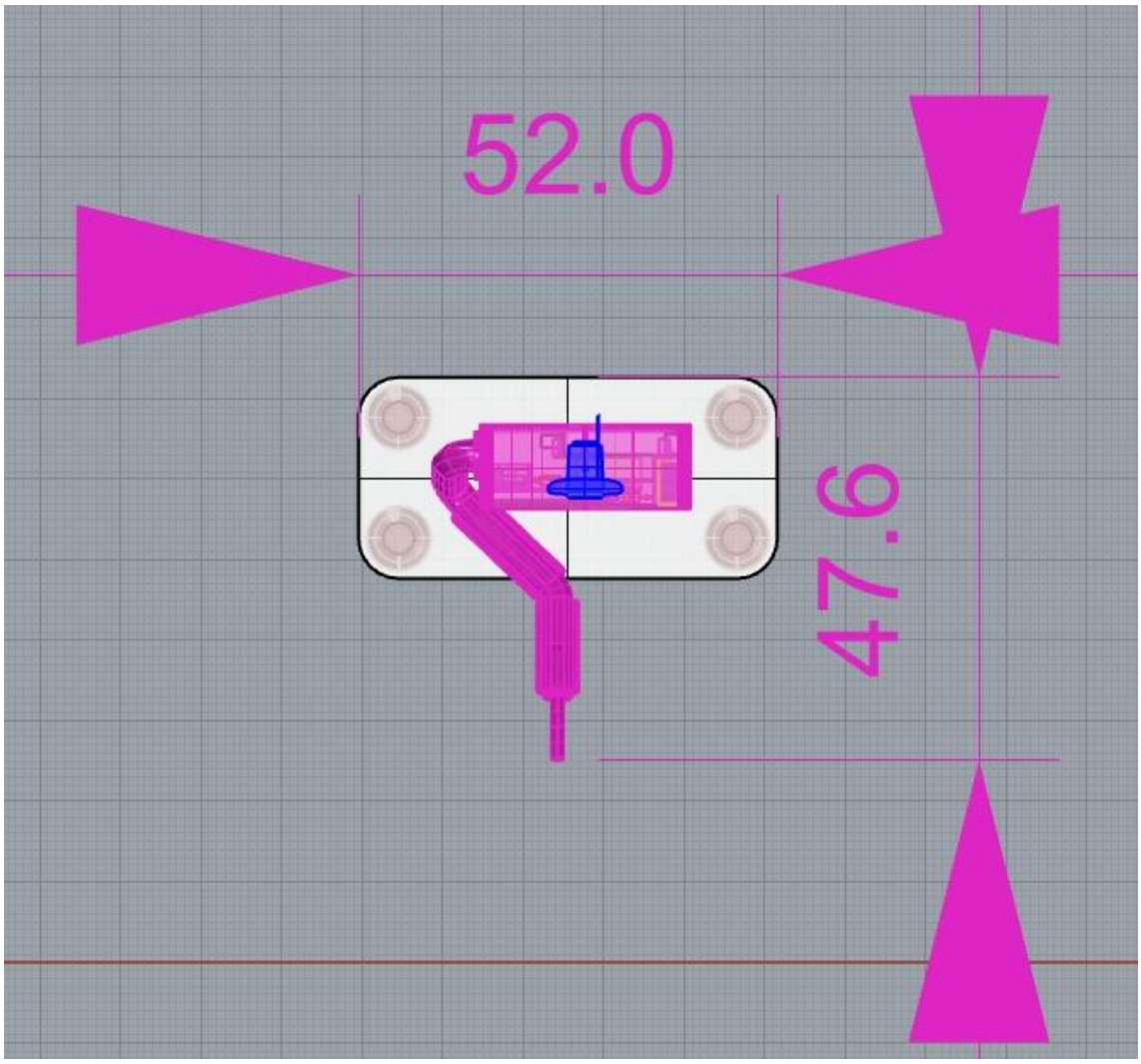
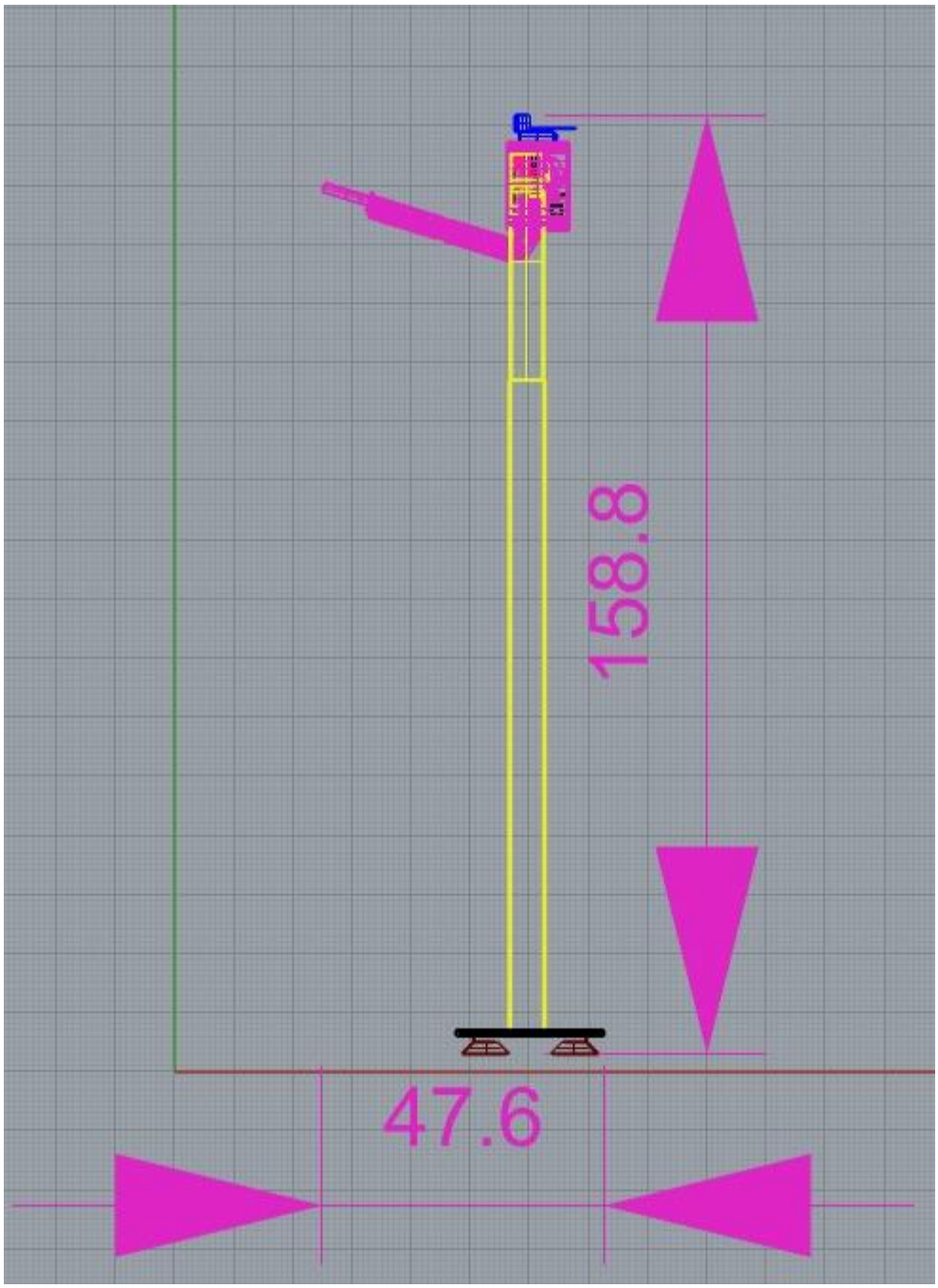


Figura 43

Estructura del equipo desarrollado usando el software Rhinoceros (vista lateral)

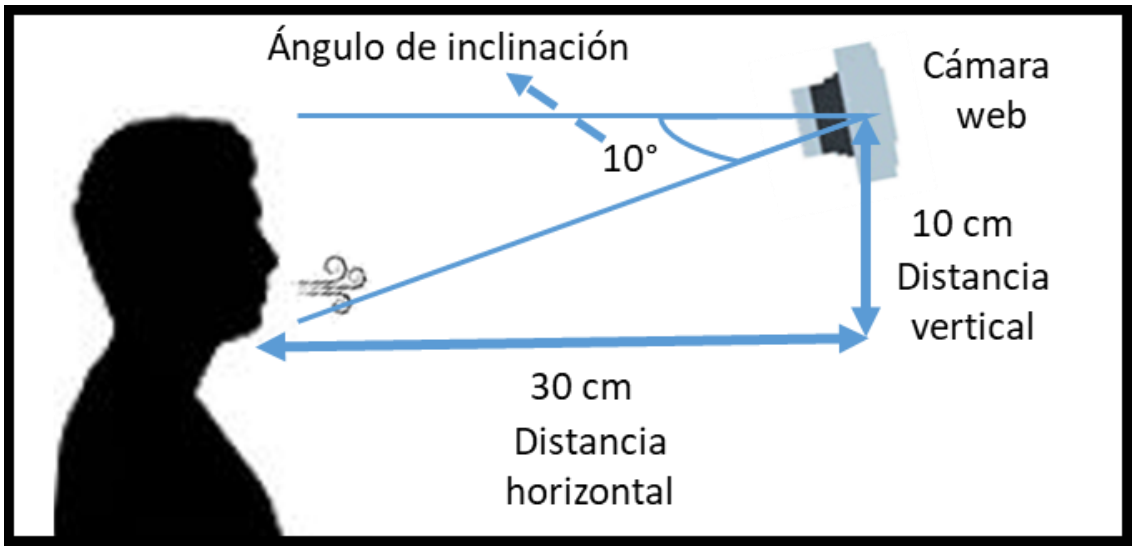


3.3.2 ***Adquisición de la imagen***

Consiste en adecuar la estructura y el cámara para el correcto funcionamiento del sistema de detección facial. En Figura 44 se visualiza los parámetros requeridos con relación a la cámara para la adquisición de la imagen.

Figura 44

Mediciones para la ubicación de la cámara



La estructura desarrollada mostrada en Figura 39 permite que tenga distancia horizontal de 30 cm y distancia vertical de 10 cm con respecto al mentón de la persona. Esta consideración sumada al campo de visión de 90° de la cámara, permiten adquirir totalmente el rostro.

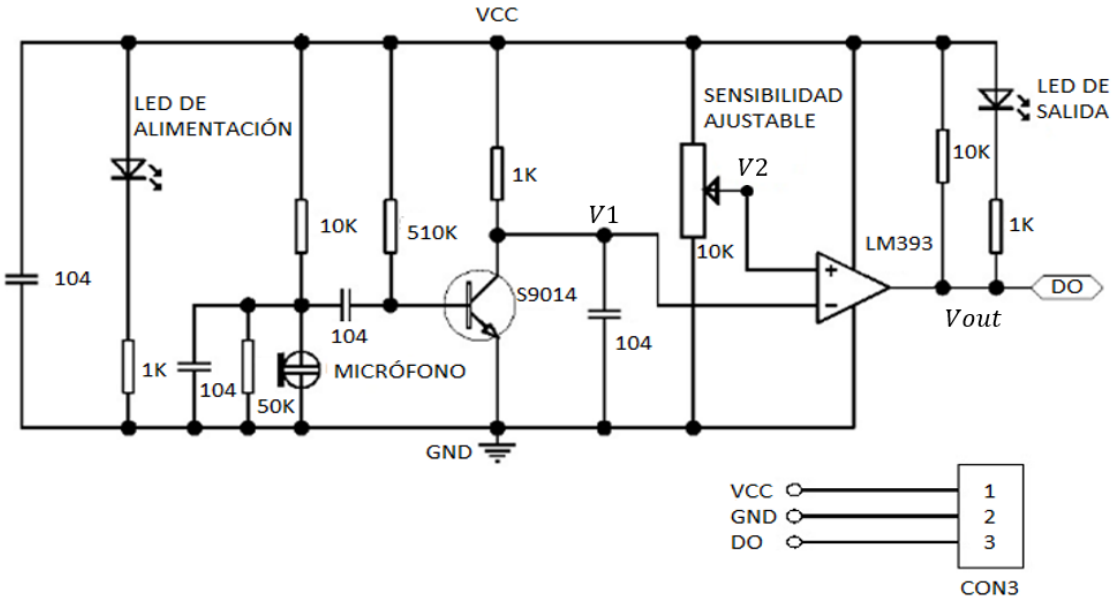
Al aplicarse estas consideraciones, permite acoplar la cámara en la estructura para registrar el rostro de la persona que utiliza el equipo desarrollado. Esto permite al algoritmo de adquisición de imagen registrar sincronizadamente el rostro que será explicado en el capítulo 4.

*3.3.3 **Adquisición de la señal del soplido***

Consiste en adquirir la señal que permite al computador de placa reducida detectar el soplido de la persona. El principal componente para la adquisición de la señal del soplido es el sensor de sonido, este está acoplado al módulo FC-04. El circuito del módulo permite amplificar la señal del sensor de sonido y cambiar el nivel lógico de la salida si la señal amplificada supera el umbral configurado. El diagrama circuital del módulo FC04 es mostrado en Figura 45.

Figura 45

Diagrama circuital del módulo fc-04



Nota. Los valores $V1$, $V2$ y $Vout$ son valores importantes para la implementación del módulo. Adaptado de "Oiyagai Módulo de detección de sensor de micrófono de sonido de alta sensibilidad 5pcs para Arduino AVR PIC" por Amazon, s.f (https://www.amazon.com/Willwin-Sensitivity-Microphone-Detection-Arduino/dp/B077MDT13M).

En Figura 45 se visualiza que el módulo fc-04 tiene el transistor S9014 polarizado en la zona activa que amplifica la señal de voltaje generada por el micrófono cuya señal amplificada es $V1$.

Asimismo, tiene un potenciómetro de 10KΩ que establece el valor de $V2$ usado como referencia para la comparación. El valor configurado del potenciómetro es crítico, ya que el desempeño de la detección del soplido (explicado en el capítulo 5) depende del valor de $V2$.

Finalmente, la comparación entre $V1$ y $V2$ lo realiza el amplificador operacional (OPAMP) configurado como comparador, cuyo valor $Vout$ es mostrado en la ecuación (3.1).

$$Vout = \begin{cases} 0 \; si \; V1 > V2 \\ 5 \; si \; V1 < V2 \end{cases} \tag{3.1}$$

Donde:

$V1$ es la señal amplificada por el transistor S9014.

$V2$ es la tensión de referencia.

Para determinar el valor óptimo de $V2$ para la aplicación, se llevaron a cabo pruebas empleando el módulo FC04 en conjunto con el Raspberry PI 4 y la pantalla LCD, todos operando en la estructura designada. Se ha evaluado voltajes en un rango específico, comprendido entre 2V y 3V. De manera experimental, se constató que un valor de 2.5V conlleva una reducción significativa en el error de detección originado por ruidos sonoros externos. Al sustituir este valor de V2 en la ecuación (3.1), se deriva la ecuación (3.2):

$$Vout = \begin{cases} 0 \; si \; V1 > 2.50 \\ 5 \; si \; V1 < 2.50 \end{cases} \quad (3.2)$$

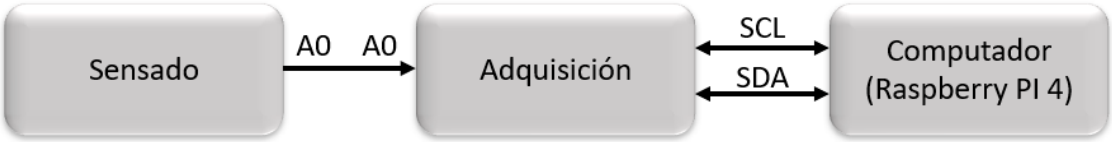
La ecuación (3.2) establece que cuando se detecta el soplido, el valor de Vout es igual a 0 V, mientras que si no se detecta, su valor es de 5V. El pin DO será conectado al pin del Raspberry PI configurado como entrada digital.

3.3.4 ***Sensado y adquisición de la señal de alcohol***

Consiste en el desarrollo del hardware que permite medir el alcohol utilizando un sensor y registrar su señal eléctrica en datos digitales para su posterior procesamiento (mostrado en el capítulo 4). El diagrama de bloques del sensado y adquisición de la señal de alcohol para el envío de la señal codificada al computador de placa reducida es mostrado en Figura 46.

Figura 46

Diagrama de bloques del sensado y adquisición del nivel de alcohol

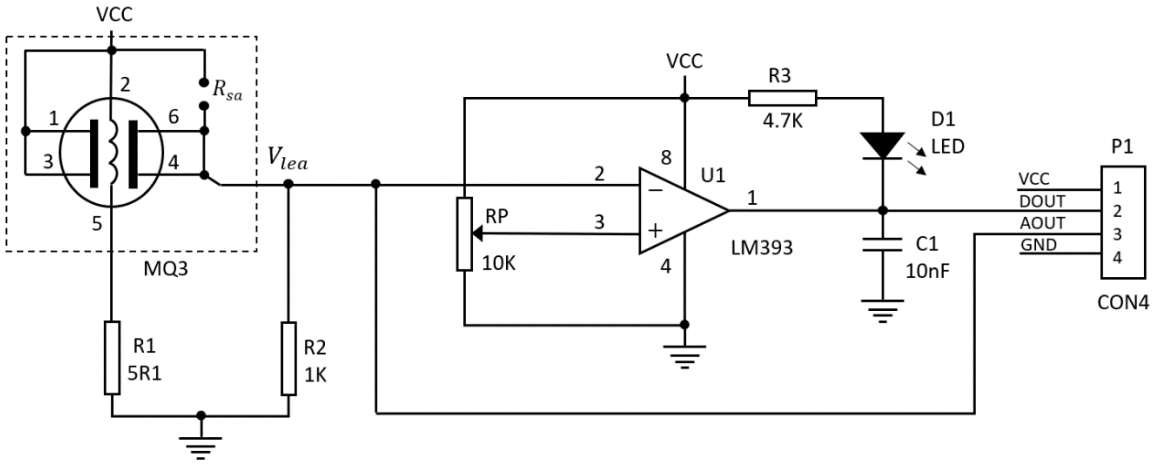


3.3.4.1 Sensado

El sensado de alcohol permite medir el alcohol y convertirla en señal eléctrica para su adquisición. Para el sensado de alcohol se utiliza el módulo MQ3, el cual posee el sensor de alcohol MQ3 acoplado a un circuito electrónico integrado. El diagrama circuital del módulo MQ3 es mostrado en Figura 47.

Figura 47

Diagrama circuital del módulo MQ3



Nota. El valor de V_{lea} es utilizado en su implementación. Adaptado de "Development of alcohol triggered vehicle engine lock system", por Ighalo et al., 2019. (http://doi.org/10.11591/ijra.v8i1.pp68-76).

Como se explicó en el capítulo 2, el sensor MQ3 requiere de la resistencia R1 para evitar daños al calentador del sensor a largo plazo y requiere de la resistencia R2 para generar corriente eléctrica entre los electrodos del sensor. Por esta razón, se implementaron las resistencias con valores recomendados, siendo de 5.1Ω para R1 y de 1KΩ para R2. Al reemplazar el valor de R2 en la ecuación (2.2) mostrada en el capítulo 2, se obtiene el valor de V_{lea} que es mostrado en la ecuación (3.3). Esta variable es la señal de salida del sensor de alcohol, el cual será adquirida por el conversor análogo digital. Cabe mencionar que el comparador y la salida DOUT mostrados en Figura 47 no son requeridos en el presente trabajo debido a que la detección de alcohol se realizará a través de software con un umbral establecido.

$$V_{lea} = 5 \times \left(\frac{1000}{1000 + R_{sa}}\right) \tag{3.3}$$

Donde:

R_{sa}: es la resistencia variable del sensor MQ3.

3.3.4.2 Adquisición

La adquisición implementada del nivel de alcohol lo realiza el conversor análogo digital ADS1115. Se eligió este conversor debido a su frecuencia de muestreo configurable y a su resolución de 16bits que permite mayor precisión en la medición. Este conversor utiliza la interface I2C para el envío de datos del conversor al Raspberry PI 4 a través de los pines

SDA y SCL. El proceso de adquisición se divide en 3 etapas que son el muestreo, cuantización y codificación.

- **Muestreo**

La señal analógica de salida del MQ3 es muestreada a una tasa o frecuencia de muestreo de 32 muestras/segundo. Esta frecuencia configurada cumple con el criterio de Nyquist (explicado en el capítulo 2), el cual es mostrada en (3.4):

$$fs \geq 2 \times 5 \ \therefore \ fs \geq 10 \tag{3.4}$$

Donde:

fs: es la frecuencia de muestreo configurada del ADS1115.

- **Cuantización**

Las muestras obtenidas son cuantizadas. Para la cuantización, los valores configurados por defecto del ADS115 son los siguientes:

- ✓ Cuantizador uniforme Mid Tread.
- ✓ Resolución (r) de 16 bits.
- ✓ $Xmax$ igual a 4.096 y $Xmin$ igual a -4.096.

Al reemplazar estos valores en la ecuación (2.6) del capítulo 2, se obtiene el intervalo de cuantización ($\triangle$) mostrado en la ecuación (3.3):

$$\triangle = \frac{Xmax - Xmin}{2^r - 1} = \frac{4.096 - -4.096}{2^{16} - 1} = 1.25 \times 10^{-4} \tag{3.5}$$

Donde:

$Xmax$: es el valor máximo cuantizado.

$Xmin$: es el valor mínimo cuantizado

r: es la resolución de cuantizador.

Al reemplazar el intervalo de cuantización $\triangle$ en la ecuación (2.7) del capítulo 2, se obtiene el error de cuantización $e_q(n)$ mostrado en la ecuación (3.6):

$$-0.625 \times 10^{-4} < e_q(n) < 0.625 \times 10^{-4} \tag{3.6}$$

Donde:

$e_q(n)$: es el error de cuantización del ADS1115.

El rango obtenido en la ecuación (3.6) es muy poco significativo con respecto a los rangos de concentración de alcohol que se van a medir.

- **Codificación**

La señal cuantizada es representada numéricamente por códigos binarios. Como se indicó en el capítulo 2, sus valores binarios deben tener un número de bits igual a la resolución del cuantizador (16 bits). Por esta razón, el rango de codificación del ADS1115 es el siguiente:

$$0x8000 < Q_x(n) < 0x7FFF \quad (3.7)$$

Donde:

$Q_x(n)$: es el valor codificado en código hexadecimal.

Sin embargo, en el presente trabajo, el valor de $X(n)$ esta comprendido entre 0 y $Xmax$. Por eso el rango $Q_x(n)$ es:

$$0x0000 < Q_x(n) < 0x7FFF \quad (3.8)$$

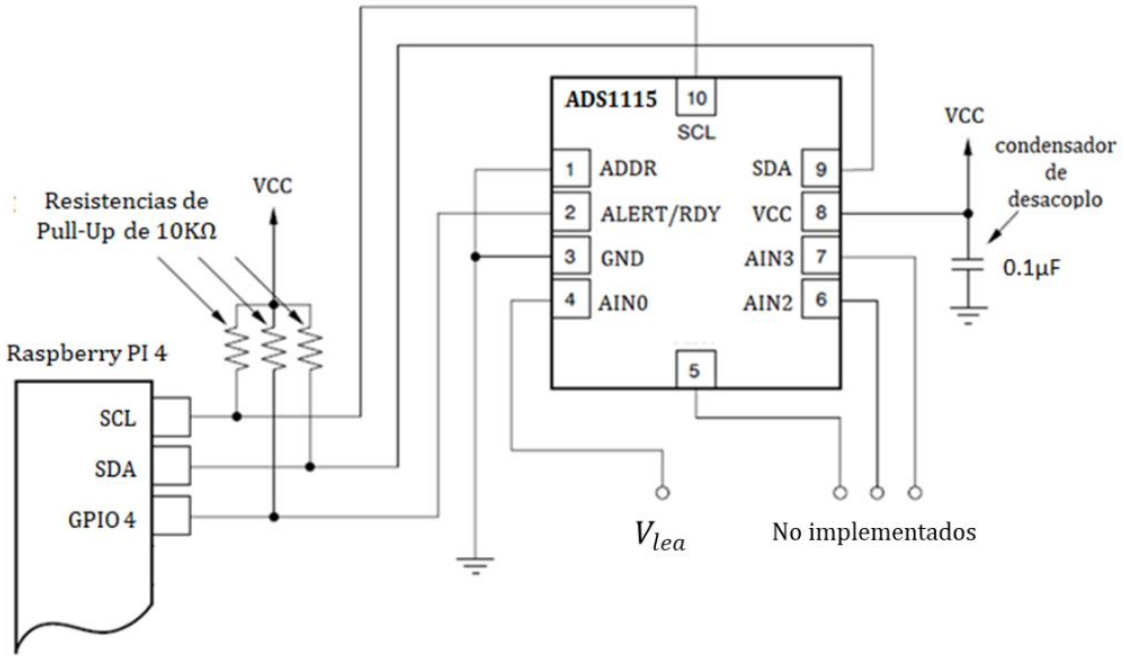
Los valores de $Q_x(n)$ dentro del rango indicado en la ecuación (3.8) se envían al Raspberry PI 4 utilizando el protocolo de comunicación I2C.

- **Transmisión de la señal codificada al computador de placa reducida**

Para el envío de la información a través del protocolo I2C, se implementa el circuito explicado en el capítulo 2, en donde se comunican el Raspberry PI 4(maestro) y el módulo ADS1115 que integra el ADS1115(esclavo). El diagrama circuital del circuito implementado es mostrada en Figura 48.

Figura 48

Circuito electrónico para la comunicación I2C entre el Raspberry PI y el ADS1115



Nota. Circuito recomendado en la hoja técnica del conversor ads1115. Adaptado de "Ultra-Small, Low-Power, 16-Bit Analog-to-Digital Converter with Internal Reference", por Texas Instruments, 2009 (https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/292735/TI/ADS1115.html).

Las configuraciones realizadas en el circuito mostrado en Figura 48 son las siguientes:

- **Multiplexor de entrada**: Se configura, por software, el pin AIN0 como entrada que está conectado al pin 3 del módulo MQ3(mostrado en Figura 47) con voltaje igual a V_{lea} del sensado.
- **Dirección de esclavo:** Se configura la dirección de esclavo a '0x48' al conectar el PIN ADDR con el pin GND.
- **Bandera de conversión ADC realizada:** Se configura el GPIO 4 como entrada que obtiene el '0' lógico del pin ALERT/RDY, este es utilizada como condicional en el algoritmo de adquisición de muestras de valores codificados obtenidos en la adquisición.

3.3.5 Procesamiento de datos

Consiste en la estimación del nivel de alcohol en mg/L y %BAC. Este procesamiento lo ejecuta el Raspberry PI 4 luego de recibir múltiples valores binarios entre 0x0000 y 0x7FFF del conversor análogo digital.

Debido a que se desea obtener un valor de nivel de alcohol que será mostrado al usuario, se obtiene el promedio de las muestras obtenidas y será convertida a valor de voltaje. Para ello se realiza lo siguiente:

1. Se obtienen 160 muestras de los valores binarios adquiridos por el sensor, el cual equivale a 5 segundos de adquisición usando frecuencia de muestreo de 32 $\frac{muestras}{segundo}$.
2. Estás muestras son promediadas y convertidas a un valor entero.
3. Se procesa el valor obtenido para obtener el voltaje analógico del módulo MQ3. Para ello se utiliza la ecuación mostrada en (3.9) la cual define el voltaje obtenido (V_{lea}):

$$V_{lea} = dbits \times \frac{FSR}{maxbits - minbits} \tag{3.9}$$

Donde:

$dbits$: es el dato binario obtenido de la adquisición en formato decimal.

FSR: es el máximo valor positivo de cuantización.

$maxbits$: es el valor máximo positivo codificado en formato decimal.

$minbits$: es el valor '0' codificado en formato decimal.

V_{lea}: es el valor cuantizado del voltaje obtenido por el Raspberry PI.

Al reemplazar los valores de FSR, $maxbits$ y $minbits$ con los valores obtenidos de la adquisición. Se obtiene la siguiente ecuación:

$$V_{lea} = dbits \times \frac{4.096}{32767} \tag{3.10}$$

Luego de obtener el voltaje se calcula la resistencia variable (R_{sa}) del sensor MQ3 debido a que es dependiente del nivel de alcohol sensado. Esta se puede calcular al despejar R_{sa} y reemplazar R2 en la ecuación (2.2) del capítulo 2 se obtiene lo siguiente:

$$R_{sa} = 1000 \times (\frac{5 - V_{lea}}{V_{lea}}) \tag{3.11}$$

Al reemplazar la ecuación (3.10) en (3.11) se obtiene la ecuación que permite obtener el valor de R_{sa}:

$$R_{sa} = 1000 \times (\frac{5 - dbits \times \frac{4.096}{32767}}{dbits \times \frac{4.096}{32767}}) \quad (3.12)$$

A partir de la curva de calibración mostrada en Figura 12 en el capítulo 2, se calcula la función matemática que relaciona el nivel de alcohol en mg/L y la resistencia R_{sa}. Para ello se realizan los pasos explicados en el capítulo, las cuales son:

1) Se obtiene el valor de $\frac{R_{sa}}{R_{oa}}$ ante altos niveles de alcohol:

   En Figura 12 del capítulo 2 se muestra que la relación de resistencias ($\frac{R_{sa}}{R_{oa}}$) ante altos niveles de alcohol es de aproximadamente 0.1. Su expresión se muestra en la ecuación (3.13):

   $$\frac{R_{sa}}{R_{oa}} \approx 0.1 \quad (3.13)$$

   Donde:

   R_{oa}: es la resistencia R_{sa} en un ambiente de alcohol de 0.4 mg/L.

2) Se obtiene experimentalmente el valor constante de R_{oa}:
   Para ello, se ha ejecutado un algoritmo utilizando la ecuación (3.12) en el Raspberry PI 4 conectado al sensor MQ3 ante niveles altos de alcohol en el ambiente, obteniéndose el valor de 2.5K.

3) Se obtiene la relación $N_{Alcohol}$ y las resistencias R_{sa} y R_{oa}:
   La función matemática que relaciona el nivel de alcohol ($N_{Alcohol}$) en mg/L, y las resistencias R_{sa} y R_{oa} es la siguiente ecuación:

   $$N_{Alcohol} = 0.4177 \times (\frac{R_{sa}}{R_{oa}})^{-1.471} \quad (3.14)$$

   Donde

   $N_{Alcohol}$: es el nivel de alcohol en el aliento en mg/L.

4) Se obtiene el valor de $N_{Alcohol}$ y su equivalente en %BAC:

   Al reemplazar R_{oa} a la ecuación (3.14) se obtiene la ecuación (3.15), el cual es la función matemática utilizada para la obtención del nivel de alcohol en mg/L mostrada al usuario.

$$N_{Alcohol} = 0.4177 \times (\frac{R_{sa}}{2500})^{-1.471} \quad (3.15)$$

La ecuación (3.16) es usada para el cálculo del nivel de alcohol en %BAC ($N_{AlcoholBAC}$), la expresión se obtuvo a partir de la ecuación (2.1) del capítulo 2.

$$N_{AlcoholBAC} = \frac{N_{Alcohol}}{5} \quad (3.16)$$

Donde:

$N_{AlcoholBAC}$: es el nivel de alcohol en %BAC.

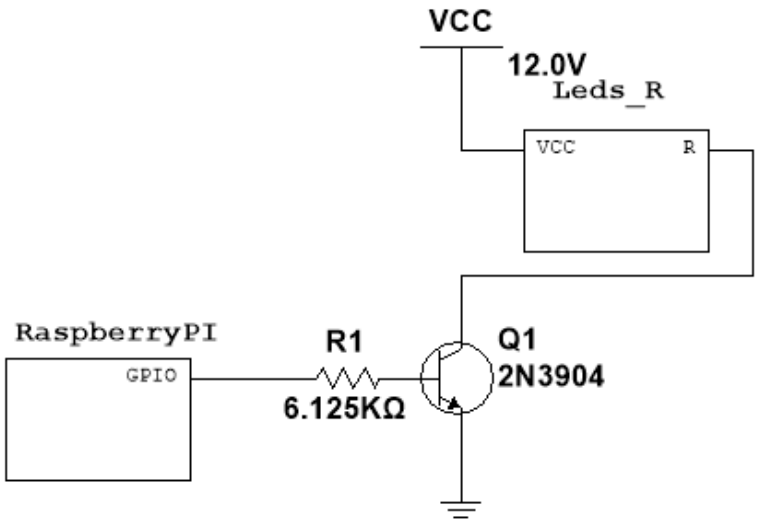
*3.3.6 **Iluminación***

La iluminación consiste en el circuito que permite la iluminación del rostro e indica la detección de alcohol. Este está conformado por resistencias, tira de LED RGB y transistores configurados como interruptores. Se eligió al transistor BJT 2N3904 debido a que tiene una I_{cmax} de 200mA y V_{CE}máximo de 40V (On Semiconductor, 2001), las cuales permiten la operatividad de la tira de LEDs en esta aplicación.

En Figura 49 se visualiza el circuito desarrollado para la iluminación del color rojo, el cual es idéntico para los colores verde y azul.

Figura 49

Diagrama circuital implementado para el control de la tira de led RGB



El funcionamiento del circuito mostrado en Figura 49 es el siguiente:

Cuando el GPIO de salida es de 0V, el transistor Q1 opera en zona de corte que genera que la corriente del colector sea cercana a 0mA (LEDs apagados).

Cuando el GPIO de salida es de 3.3V, el transistor Q1 opera en zona de saturación que genera que I_{Csat} sea igual a 80mA (LEDs encendidos).

Para la obtención del valor de la resistencia R_B que permite que I_{Csat} sea de 80mA, se realizaron los siguientes pasos:

1) Se realizó la búsqueda de P_m en la ficha técnica de la tira de led RGB, el cual es igual a $14.4W/m$ (LED BOX,2020).
2) Dado que se utilizará 0.2m, se realizó el cálculo de la corriente I_T total de los 3 transistores 2n3904, el cual es mostrada en la ecuación (3.17).

$$I_T = \frac{\frac{14.4w}{5}}{12V} = 240mA \tag{3.17}$$

Donde:

I_T: es la suma de las corrientes de los colectores de los 3 transistores cuando se encuentran en la región de saturación.

3) La ecuación (3.18) muestra el cálculo de I_{Csat} para cada transistor.

$$I_{Csat} = \frac{I_T}{3} = \frac{240}{3} = 80mA \tag{3.18}$$

Donde:

I_{Csat}: es la corriente del colector de cada transistor cuando se encuentra en la región de saturación.

4) La ecuación (3.19) muestra el cálculo realizado de I_{Bsat}.

$$I_{Bsat} = \frac{80mA}{200} = 0.4mA \tag{3.19}$$

Donde:

I_{Bsat}: es la corriente de la base de cada transistor cuando se encuentra en la región de saturación.

5) La ecuación (3.20) muestra el cálculo realizado de R_B.

$$R_B = \frac{3.3V - 0.85V}{0.4mA} = 6.125K\Omega \quad (1.20)$$

Donde:

R_B: es la resistencia conectada a la base del transistor que permite que I_{Csat} sea 80mA.

3.3.7 ***Red LAN***

Consiste en la conectividad entre el Raspberry PI 4 y el ordenador para que este último aplique el algoritmo de reconocimiento de rostro al rostro registrado. Se aplica la red mostrada en Figura 37 en donde se han tenido las siguientes consideraciones:

- ✓ Se ha configurado la conexión alámbrica entre los dispositivos través de la red LAN, se utiliza el puerto ethernet del Raspberry PI y un adaptador USB Ethernet para la conexión del cable de red.
- ✓ Utiliza comunicación alámbrica debido es más seguro y confiable. Esto es debido a que se envía información importante del usuario (foto del rostro, nivel alcohólico, fecha y hora de medición, nombre, DNI y respuesta de ingesta de alcohol).
- ✓ Se eligió el protocolo TCP/IP para el envío de los datos obtenidos donde el ordenador es el servidor que espera a que el Raspberry (cliente) la información. Para la conexión, se ha configurado las direcciones IP estáticas a ambos dispositivos con el objetivo de facilitar la conexión de los dispositivos.

3.4 **Vista exterior del producto final acabado**

Las vistas exteriores del producto final acabado, que incluyen tomas de distintos componentes en diferentes ángulos y sus pantallas, son mostradas en Figura 50, Figura 51, Figura 52, Figura 53, Figura 54, Figura 55, Figura 56 y Figura 57.

Figura 50

Vista exterior del producto final con todos sus componentes

Figura 51

Vista del ordenador y router conectados al equipo a través de la red LAN

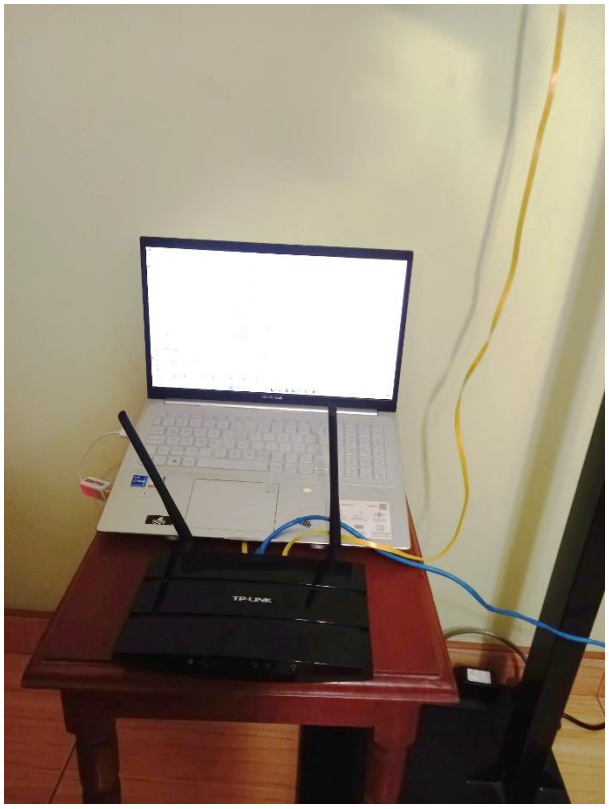


Figura 52

Vista exterior de la pantalla 1(Nueva medición)

Figura 53

Vista exterior 2 de la pantalla 1(Nueva medición)

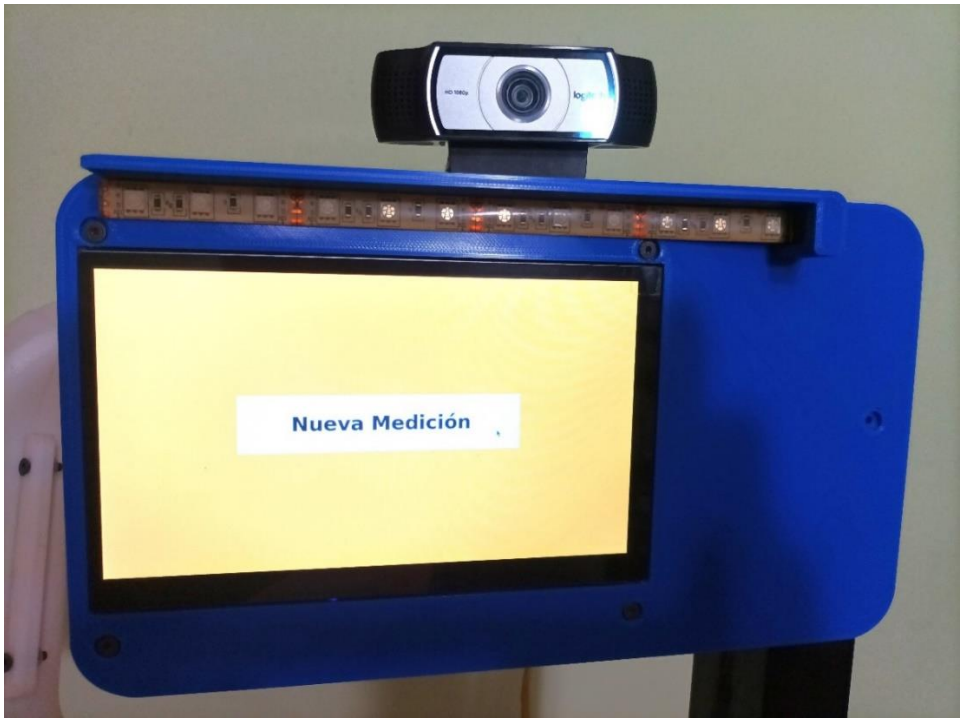


Figura 54

Vista exterior de la pantalla 2 (Mensaje de ingesta de alcohol)

Figura 55

Vista exterior de la pantalla 3(Indicador de exhalación)

Figura 56

Vista exterior de la pantalla 4 (Exhalación detectada)

Figura 57

Vista exterior de la pantalla 5 (Nivel de alcohol detectado y rostro reconocido)

3.5 **Comentarios finales del capítulo**

El hardware desarrollado es una invención, el cual puede ser mejorada para que funcione de manera más eficiente en un entorno empresarial. A continuación, se mencionan las lecciones aprendidas en el desarrollo del hardware y las mejoras que se realizarán a futuro.

- Las métricas utilizadas para la estructura fueron las adecuadas ya que permite que la cámara Logitech c920e enfoque el rostro, el ensamblado de los componentes y su interacción con el usuario.
- Es posible modificar la estructura y modificar la iluminación con el objetivo de obtener imágenes más claras del rostro para mejorar el desempeño del algoritmo de reconocimiento de rostro explicado en el capítulo 4.
- Puede presentarse errores en la detección del flujo de aire debido a ruidos sonoros ambientales cerca al micrófono, sin embargo, la estructura desarrollada reduce el ruido sonoro externo sensado por el micrófono.
- Es posible implementarse otro sensor de alcohol de mayor costo y de bajo consumo que permita medir el alcohol con menor consumo de energía.

- La ecuación obtenida para la obtención del nivel alcohólico puede variar en otros sensores MQ3 debido a que las constantes obtenidas se obtuvieron a través de pruebas experimentales utilizando el sensor adquirido.

4. Capítulo 4: Descripción del Software propuesto

4.1 Introducción

En el presente capítulo se explicará el funcionamiento de los algoritmos que permiten el reconocimiento de la persona y visualizar los datos obtenidos del control de alcoholemia. Los algoritmos son ejecutados en diferentes dispositivos: El Raspberry PI, el ordenador, el servidor remoto y un dispositivo móvil.

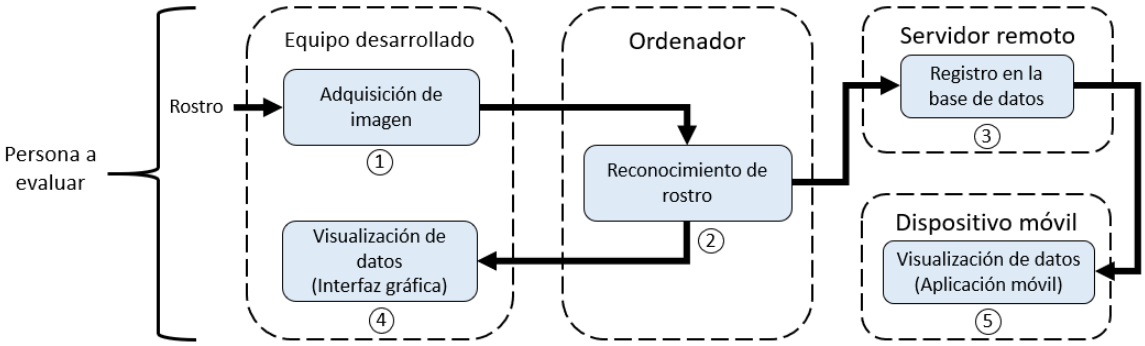
4.2 Diseño e implementación

Para el desarrollo de la solución propuesta se utilizó el lenguaje de programación Python para la adquisición de la imagen, para el reconocimiento de rostro y para la visualización de datos en la interfaz gráfica; asimismo, se utilizó el lenguaje de programación Java (Android) para el desarrollo de la aplicación móvil; finalmente, se utilizó el lenguaje PHP para el registro en la base de datos.

En Figura 58 se muestra el diagrama de bloques del algoritmo del equipo desarrollado.

Figura 58

Diagrama de bloques de los algoritmos de la solución propuesta



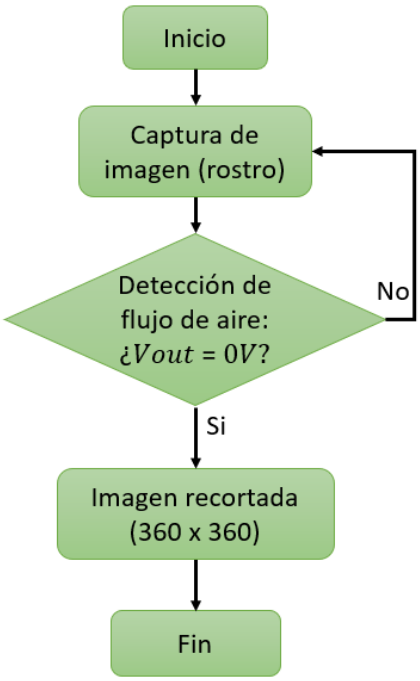
A continuación, se describirán las funciones de cada etapa y cómo se llevan a cabo.

4.2.1 Adquisición de la imagen

Consiste en un algoritmo (ejecutado en el Raspberry PI 4) que permite el registro sincronizado del rostro de la persona. La sincronización se da debido a que se captura y almacena la imagen del rostro de la persona inmediatamente después de detectar el flujo de aire. El diagrama de flujo del algoritmo es mostrado en Figura 59.

Figura 59

Diagrama de flujo del algoritmo para la adquisición de la imagen



El funcionamiento del diagrama de flujo mostrado en Figura 59 es el siguiente:

1) Se realiza la toma de imagen RGB con resolución de (480 x 640). En base a lo explicado en el capítulo 2, las matrices que conforman la imagen digital RGB obtenida son $I1_R(x,y)$, $I1_G(x,y)$ y $I1_B(x,y)$, las cuales son mostradas en las ecuaciones (4.1), (4.2) y (4.3).

R
$$I1_R(x,y) = \begin{bmatrix} I1_R(0,0) & I1_R(0,1) & - & I1_R(0,639) \\ I1_R(1,0) & I1_R(1,1) & - & I1_R(1,639) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I1_R(479,0) & I1_R(479,1) & - & I1_R(479,639) \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

G
$$I1_G(x,y) = \begin{bmatrix} I1_G(0,0) & I1_G(0,1) & - & I1_G(0,639) \\ I1_G(1,0) & I1_G(1,1) & - & I1_G(1,639) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I1_G(479,0) & I1_G(479,1) & - & I1_G(479,639) \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

B
$$I1_B(x,y) = \begin{bmatrix} I1_B(0,0) & I1_B(0,1) & - & I1_B(0,639) \\ I1_B(1,0) & I1_B(1,1) & - & I1_B(1,639) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I1_B(479,0) & I1_B(479,1) & - & I1_B(479,639) \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

2) Si $Vout$ es igual a $5V$, se ejecuta el paso 1 indefinidamente. En caso $Vout$ sea igual $0V$, se ha detectado el flujo de aire; por lo tanto, se registra la última imagen tomada

y se ejecuta el paso 3. Cabe resaltar que $Vout$ es el voltaje definido en la ecuación 3.1 usado para la detección del flujo de aire.

3) La imagen es preprocesada con algoritmo de corte de imagen a una resolución de 360x360 pixeles en formato RGB. La finalidad de ejecutar este algoritmo es obtener la región de interés, es este caso es el rostro de la persona; asimismo, reduce el tiempo de transferencia de la imagen obtenida al ordenador. Las ecuaciones (4.4), (4.5) y (4.6) representan los componentes rojos, verde y azul, respectivamente, de la imagen resultante $I2$, y esta es mostrada en Figura 60.

R $$I2_R(x,y) = I1_R(x+60, y+200) \quad (4.4)$$

G $$I2_G(x,y) = I1_G(x+60, y+200) \quad (4.5)$$

B $$I2_B(x,y) = I1_B(x+60, y+200) \quad (4.6)$$

Donde:

$$x = 0,1,\dots,360$$
$$y = 0,1,\dots,360$$

Figura 60

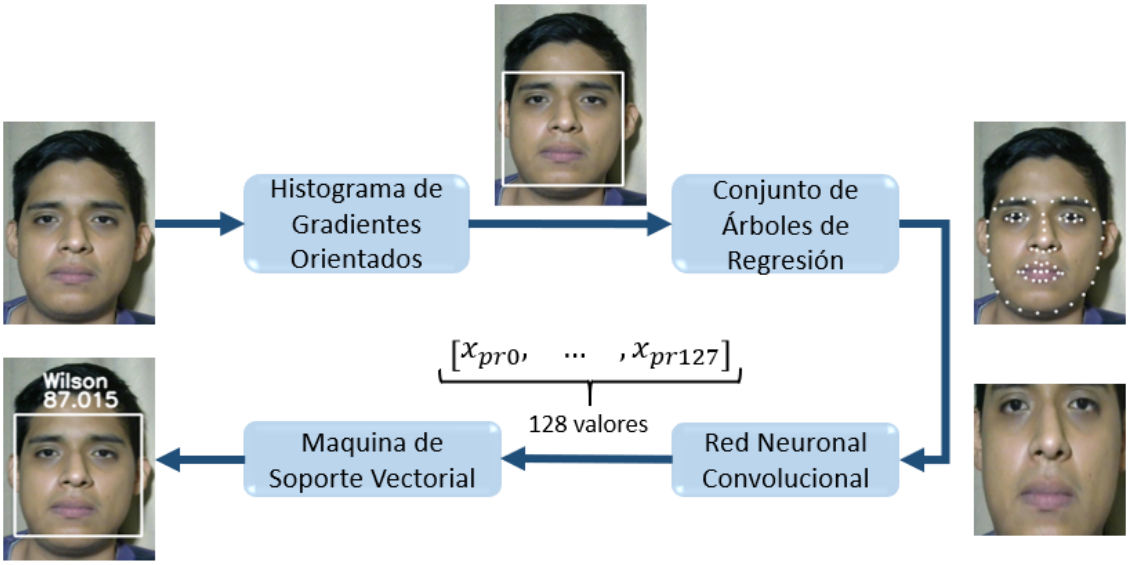
Imagen adquirida I2

4.2.2 ***Reconocimiento de rostro***

Esta etapa consiste en el algoritmo ejecutado en el ordenador que permite reconocer a la persona. Este algoritmo tiene como entrada la imagen adquirida del algoritmo de adquisición de imagen y tiene como salida la imagen del rostro reconocido. El diagrama de bloques de este algoritmo se muestra en Figura 61.

Figura 61

Diagrama de bloques del reconocimiento de rostro aplicado a una imagen de prueba



4.2.2.1 HOG (Histograma de Gradientes Orientados)

Se aplica el algoritmo HOG desarrollado por Suleiman y Sze (2016) a la imagen adquirida para la detección de rostros. En el capítulo 2 se explica que su entrada es la imagen adquirida (cuyos componentes son: $I2_R(x,y)$, $I2_G(x,y)$ e $I2_B(x,y)$) y su salida es el rostro detectado. En la implementación se realiza lo siguiente:

1) Preprocesamiento:

   Se convierte la imagen adquirida a escala de grises a través del promedio, debido a que el color no es requerido para encontrar rostros. El cálculo del promedio aplicado a la imagen adquirida $I2$ en la sección 4.2.1 en la ecuación (4.7):

$$I2(x,y) = round\left(\frac{I2_R(x,y) + I2_G(x,y) + I2_B(x,y)}{3}\right) \tag{4.7}$$

   La matriz obtenida en escala de grises con resolución de 360x360 es mostrada en la ecuación (4.8):

$$I2(x,y) = \begin{bmatrix} I2(0,0) & I2(0,1) & - & I2(0,360-1) \\ I2(1,0) & I2(1,1) & - & I2(1,360-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I2(360-1,0) & I2(360-1,1) & - & I2(360-1,360-1) \end{bmatrix} \tag{4.8}$$

   La imagen es escalada con interpolación bilineal para obtener una resolución de 128x64 que reduce la carga computacional generada por cálculo de gradientes a cada pixel. La imagen obtenida $I3$ es mostrada matricialmente en la ecuación (4.9).

$$I3(x,y) = \begin{bmatrix} I3(0,0) & I3(0,1) & - & I3(0,64-1) \\ I3(1,0) & I3(1,1) & - & I3(1,64-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I3(128-1,0) & I3(128-1,1) & - & I3(128-1,64-1) \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

2) Algoritmo HOG: Se aplica el algoritmo HOG, explicado en el capítulo 2, a $I3$, el cual se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Se divide la imagen en celdas de 8x8, que es un valor recomendado por Suleiman y Sze.
- Se realiza el cálculo de las gradientes utilizando las ecuaciones (2.16), (2.17), (2,18) y (2.19) mostrados en el capítulo 2, el cálculo aplicado es a la imagen $I3(x,y)$ son mostrados en las ecuaciones (4.10), (4.11), (4.12) y (4.13). Posteriormente, se genera histogramas a cada celda utilizando 9 bins, que cubren un rango de 0 a 180 grados.

$$GI3_x(x,y) = I3(x+1,y) - I3(x-1,y) \quad (4.10)$$

$$GI3_y(x,y) = I3(x,y+1) - I3(x,y-1) \quad (4.11)$$

Donde:

$GI3_x(x,y)$: es la gradiente del pixel en x de $I3(x,y)$

$GI3_y(x,y)$: es la gradiente del pixel en y de $I3(x,y)$.

$$\emptyset = \text{atan}(\frac{GI3_y(x,y)}{GI3_x(x,y)}) \quad (4.12)$$

$$|GI3_x(x,y)\colon| = \sqrt{(GI3_x(x,y))^2 + \left(GI3_y(x,y)\right)^2} \quad (4.13)$$

Donde:

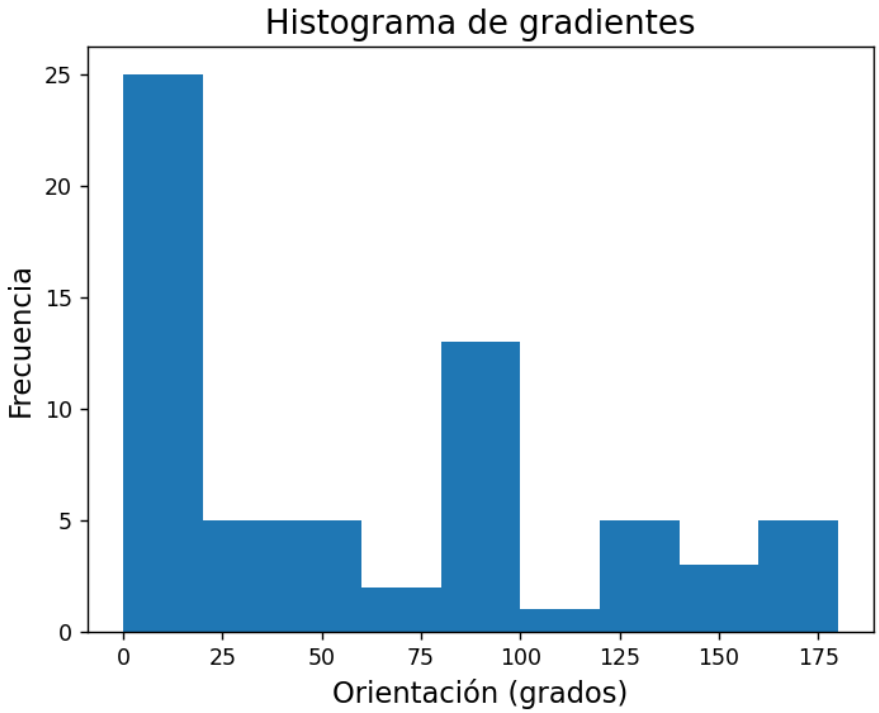
$|GI3_x(x,y)\colon|$: es la magnitud de la gradiente de $I3(x,y)$.

$\emptyset$: es la orientación (o dirección) de $I3(x,y)$ en un cuadrante.

El histograma obtenido a una celda de la imagen es mostrado en Figura 62.

Figura 62

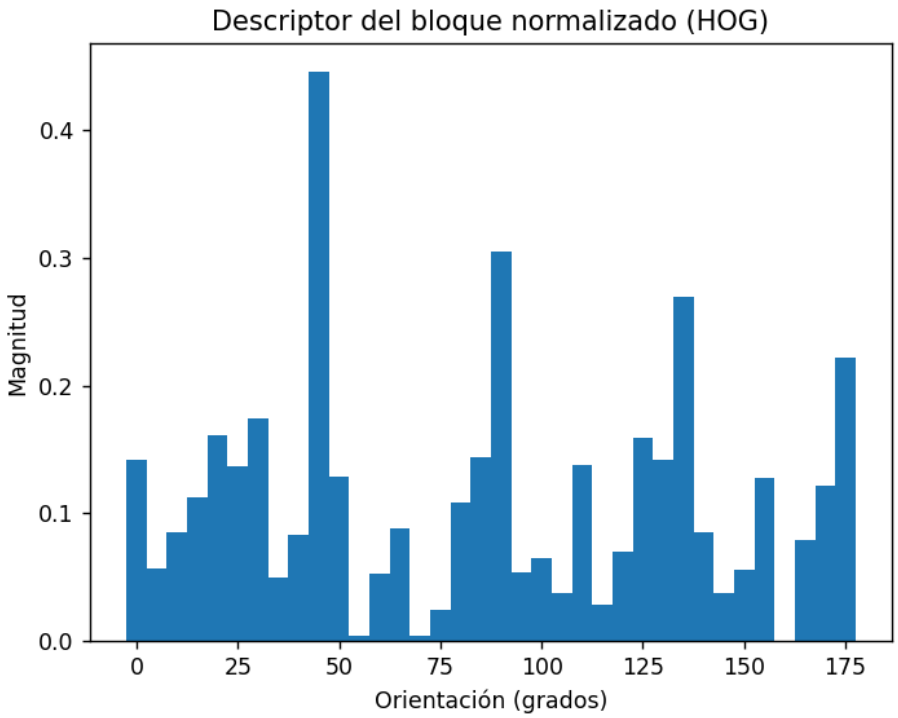
Histograma de gradientes aplicado a una celda



- Se normaliza el histograma utilizando bloques de 2x2 celdas, que genera vectores normalizados de 36 valores. El histograma aplicado a un bloque de la imagen se muestra en Figura 63.

Figura 63

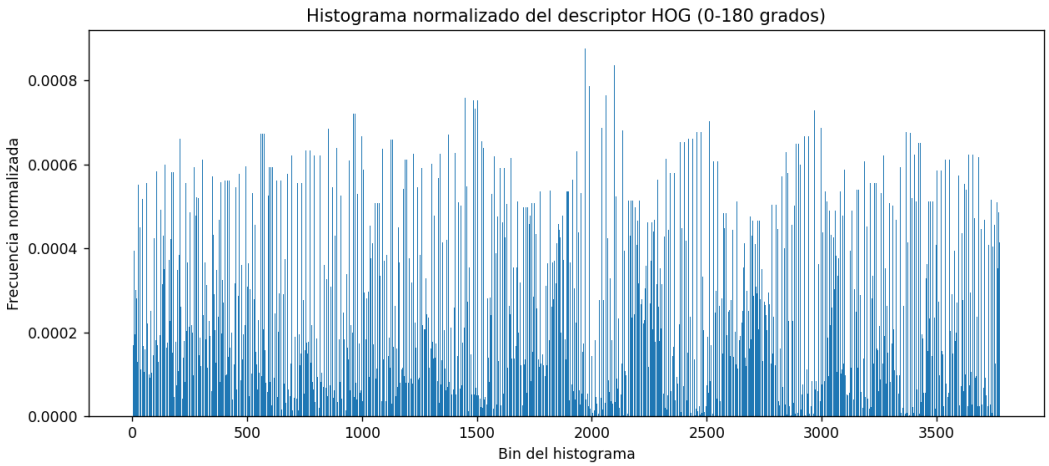
Descriptor del bloque normalizado



- Se agrupan los vectores para obtener las características HOG compuesto por 3780 valores. El histograma de los valores agrupados es mostrado en Figura 64.

Figura 64

Histograma del descriptor HOG compuesto por 3780 valores



- Se aplica la máquina de soporte vectorial lineal a las características HOG para la detección de rostro.

3) Para la estimación de las ubicaciones de los rostros, se realiza un algoritmo (utilizando distancia euclidiana) cuya función es encontrar las partes de la imagen de

los vectores de gradientes (imagen HOG) de $I2$, donde existan similitudes con una imagen HOG patrón de múltiples rostros superpuestos (Geitgey, 2016). En Figura 65 se visualiza la imagen HOG patrón que se aplica a la imagen HOG de $I2$ y en Figura 66 se visualiza la imagen $I2$ con rostro detectado.

Figura 65

Imagen HOG patrón de múltiples rostros superpuestos

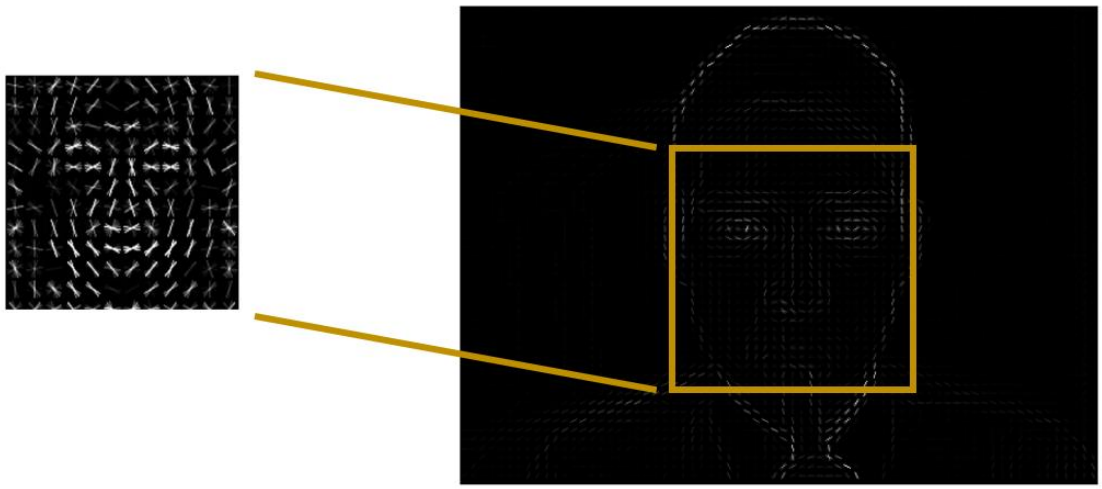
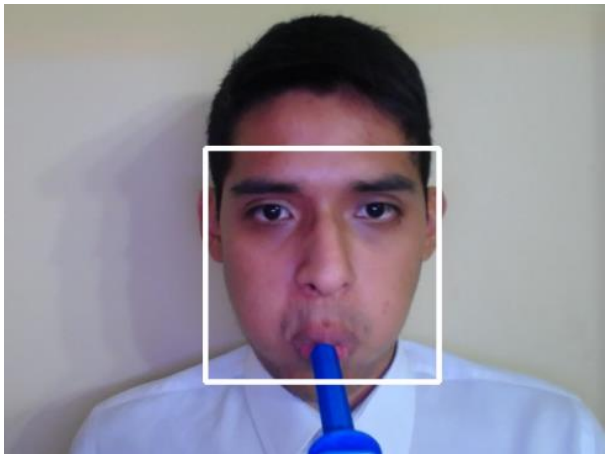


Figura 66

Imagen I2 con rostro detectado



4.2.2.2 Conjunto de Árboles de Regresión

Se aplica el conjunto de árboles de regresión al rostro detectado para la extracción de características faciales. Se aplica el algoritmo desarrollado por Kazemi y Sullivan (2014), en donde se han tenido las siguientes consideraciones:

- Su entrada es el rostro adquirido $I2$ (cuyos componentes son: $I2_R(x,y)$, $I2_G(x,y)$ e $I2_B(x,y)$).
- Se aplica la inferencia del conjunto de árboles de regresión explicado en el capítulo 2, el cual implica predecir las coordenadas por árbol y combinar las predicciones. El algoritmo esta previamente entrenado por Kazemi y Sullivan, el cual utilizaron 2000 rostros y sus respectivas etiquetas.
- Se ha configurado para que se obtenga como salida 64 puntos de referencia (model = 'large' en el parámetro de la función), el cual captura más detalles sobre la forma y posición del rostro.
- Al obtener los 64 puntos de referencia, se aplican algoritmos de rotación y escalamiento, el cual permite una mejor normalización y alineación de los rostros que es crucial para mejorar la precisión del reconocimiento. En Figura 67 se visualiza el conjunto de árboles de regresión aplicado a la entrada $I2$ y en Figura 68 se muestra la imagen de salida $I4$ de 534x534 obtenida mediante los algoritmos de rotación y escalamiento.

Figura 67

Imagen I2 con rostro detectado y puntos de referencia

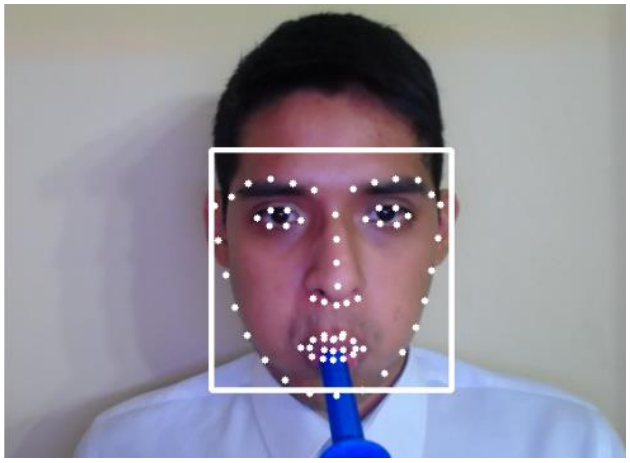
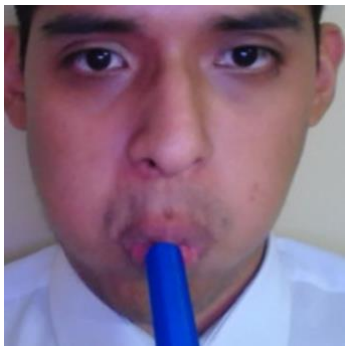


Figura 68

Imagen I4 rotada y escalada

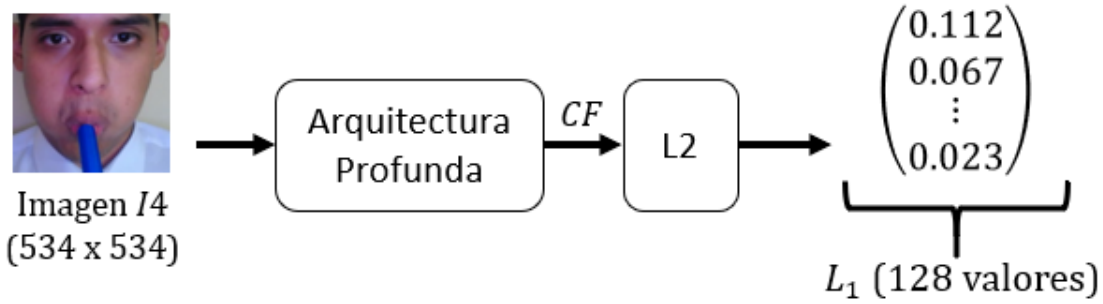


4.2.2.3 Red Neuronal Convolucional

Se aplica la red neuronal convolucional ”FaceNet” desarrollada por Schroff et al. (2015) para identificar a la persona. Su diagrama de bloques es mostrado en Figura 69.

Figura 69

Diagrama de bloques resumido de la inferencia de la arquitectura FaceNet



Se ha tenido las siguientes consideraciones en su implementación:

- Su entrada en la inferencia es la imagen de salida $I4$ del algoritmo del conjunto de árboles de regresión.
- Se aplica la arquitectura profunda, donde la red neuronal convolucional de ‘FaceNet’ no se ha hecho público en su totalidad, sin embargo, se sabe contiene capas convolucionales(1x1, 3x3 y 5x5), capas de pooling(3x3 y 5x5) y modulos inception. Los módulos inception compuestos por capas convolucionales con kernel de 1x1, 3x3 y 5x5 y una capa de Máx pooling, mostrado en Figura 30 del capítulo 2.
- En el entrenamiento de la red, Schroff et al. (2015) utilizaron aproximadamente 100 millones de imágenes que contenían 8 millones de identidades diferentes, con el fin de crear una red capaz de clasificar a personas que ni siquiera fueron empleadas en el entrenamiento.

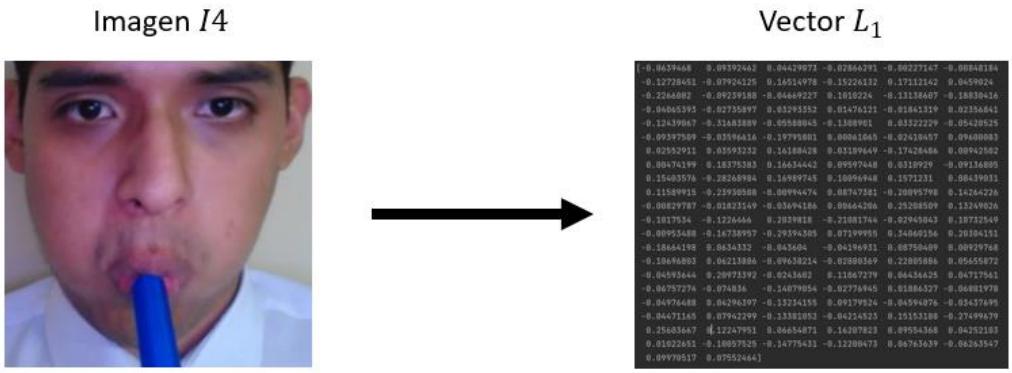
- La función de pérdida “triplet loss”, explicado en el capítulo 2, es aplicado en el entrenamiento para ajustar parámetros de la red; sin embargo, esta función no es aplicada en la inferencia de la red.
- Se normaliza usando la normativa L2, explicado en el capítulo 2, a partir del vector con 128 dimensiones. La ecuación aplicada es mostrada en (4.14)

$$E_n = \frac{CF}{\sqrt{\sum_{i=1}^{128} CF_i^2}} \tag{4.14}$$

- Se genera el vector de salida L_1 con 128 valores que caracterizan a la persona, que es mostrada en Figura 70.

Figura 70

Entrada y salida de la red neuronal convolucional



4.2.2.4 Máquina de Soporte Vectorial

Se aplica la máquina de soporte vectorial (SVM), el cual permite encontrar la persona en el set de datos de personas conocidas quien tiene las más cercanas mediciones con un rostro de entrada.

Se han tenido las siguientes consideraciones en la implementación del SVM:

- Se ha implementado un kernel de base radial para el entrenamiento debido a que, como se explicó en el capítulo 2, permite capturar fronteras de decisión más complejas y no lineales en el espacio de infinitas dimensiones. La ecuación (4.15) representa al kernel lineal aplicado a dos vectores de 128 valores (dimensiones) obtenidos de la red neuronal convolucional.

$$K(x_{rr1}, x_{rr2}) = \exp(-\gamma \times \left||x_{rr1} - x_{rr2}|\right|^2) \quad (4.15)$$

Donde:

x_{rr1}: vector 1 de 128 valores en el espacio original.

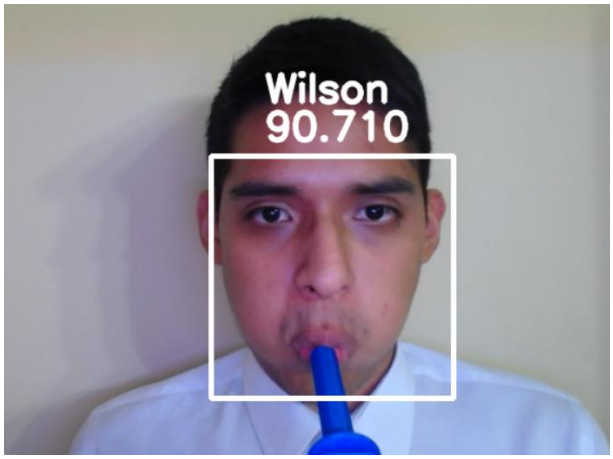
x_{rr2}: vector 2 de 128 valores en el espacio original.

γ: es igual a 1/(2σ^2), el cual es configurable.

- La instrucción en lenguaje Python que configura el tipo de kernel a usar en el entrenamiento:
  clf = SVC (gamma='scale')
  Debido a que gamma='scale', el valor de γ es igual a 1 / (128 × X.var()). X.var() es la varianza de los datos de los datos de entrada conformado por vectores de 128 valores. Este valor de gamma configurado me permite obtener buenos resultados que son explicados en el capítulo 5.
- En el entrenamiento, las entradas son los vectores de salida de la red neuronal de cada persona, por otro lado, las salidas son etiquetas asignadas a la imagen de cada persona. La imagen con el rostro reconocido es mostrada en Figura 71.

Figura 71

Imagen I2 con rostro reconocido



4.2.3 ***Registro en la base de datos***

Esta etapa consiste en el algoritmo que envía la información obtenida a una base de datos relacional (MySQL) ubicada en un servidor externo(webhost) utilizando el protocolo HTTP.

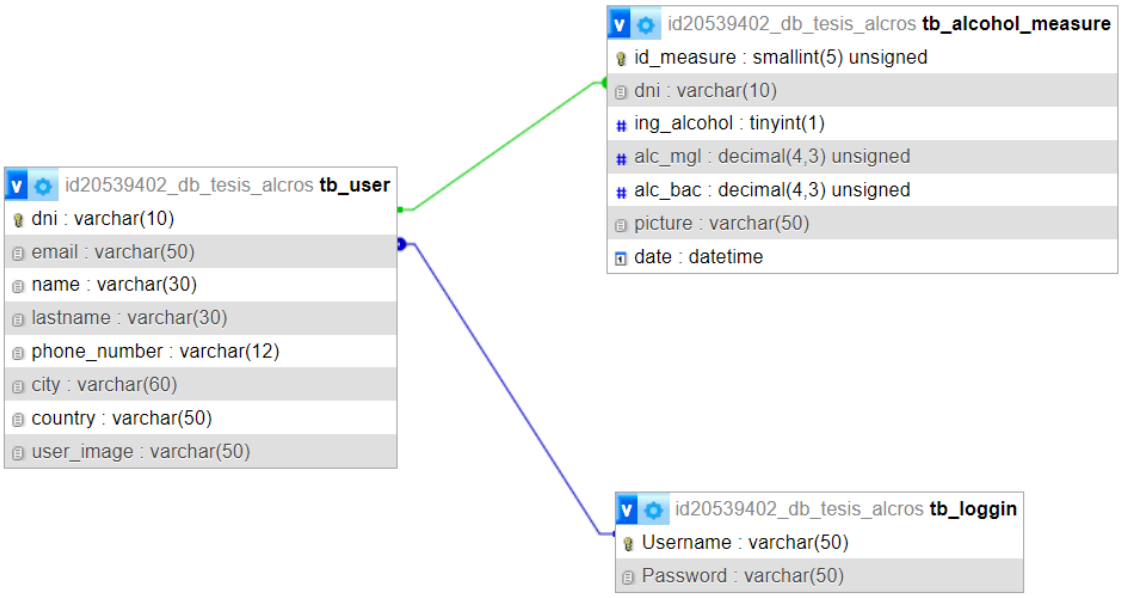
Este se ejecuta luego de medir el nivel alcohólico e identificar a la persona. Los parámetros enviados por el ordenador son:

- dni: Es el DNI de la persona reconocida.
- Alc_mgl: La estimación del nivel alcohólico en el aliento(mg/L).
- Alc_bac: La estimación del nivel alcohólico en la (mg/L).
- date: Es la fecha y hora de la prueba de alcoholemia.
- Ing_alcohol: Es la respuesta ante la ingesta de alcohol (0 si es "si" y 1 si es "no").
- Picture: Es la url del rostro adquirido durante la prueba, el cual se encuentra alojado en el servidor.

El diagrama de la base de datos relacional desarrollado donde se ubican los parámetros mencionados, la información del usuario y las credenciales para el inicio de sesión en el aplicativo, son mostrados en Figura 72.

Figura 72

Diagrama de base de datos desarrollado



Según se muestra en Figura 72, en la tabla 'tb_user' se almacena la información personal de la persona a evaluar, en la tabla 'tb_loggin' se registra las credenciales del usuario y en la tabla 'tb_alcohol_measure' se guarda las mediciones obtenidas. Las relaciones entre las

tablas permiten registrar información de la medición en tb_alcohol_measure, si los datos de la persona están previamente registrados en las tablas tb_loggin y tb_user.

*4.2.4 **Visualización de persona identificada y nivel de alcohol detectado (Etapa 4)***

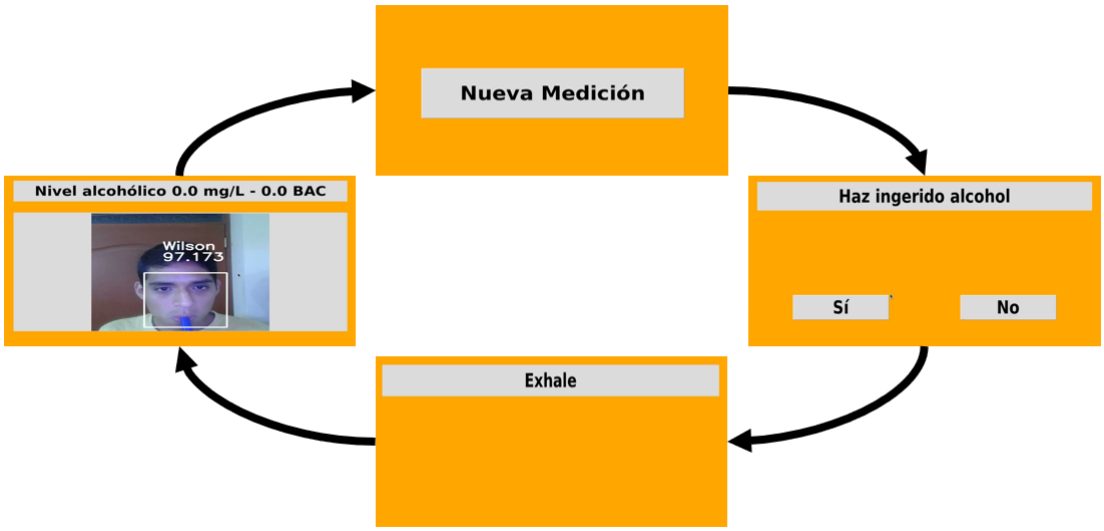
Esta etapa permite la visualización del nivel alcohólico y la persona reconocida. Se visualiza en la interfaz gráfica desarrollada y en aplicación móvil.

4.2.4.1 Visualización en interfaz gráfica

Durante el control de alcoholemia, el usuario interactúa con la pantalla LCD táctil de 7 pulgadas ubicada en la estructura del equipo desarrollada. En la pantalla se visualiza la interfaz gráfica requerida para el control de alcoholemia. Esta interfaz gráfica se ha desarrollado en lenguaje Python a través de la librería Tkinter. En Figura 73 se muestran las vistas desarrolladas para el control de alcoholemia.

Figura 73

Vistas desarrolladas para el control de alcoholemia



4.2.4.2 Visualización en aplicación móvil.

Una vez registrado el control de alcoholemia, el usuario puede visualizar la información registrada que consiste en: nivel alcohólico medido, fecha de registro, respuesta del usuario de la ingesta de alcohol e imagen del rostro registrado. La visualización en la aplicación móvil es posible a través de un equipo móvil con sistema operativo Android, las vistas son mostradas en Figura 74.

Figura 74

Vistas del aplicativo móvil

4.2.4.3 Manual de usuario

El manual de usuario para el manejo de la interfaz gráfica es el siguiente:

1) Presionar el botón “Nueva medición” para iniciar una nueva medición de nivel alcohólico. La vista 1 es mostrada en Figura 75.

Figura 75

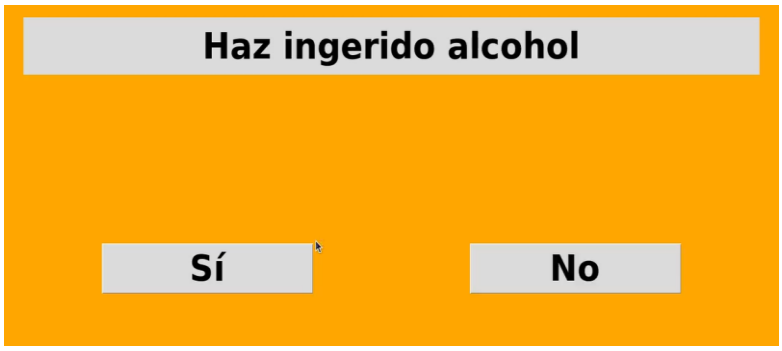
Vista 1 con el botón de nueva medición

2) En la siguiente vista, se visualiza el mensaje “Has ingerido alcohol” en la parte superior donde se le pregunta al usuario si ha ingerido alcohol, y este debe responder pulsando

"Sí" o "No"; este paso se implementa debido a cuestiones legales. La vista 2 es mostrada en Figura 76.

Figura 76

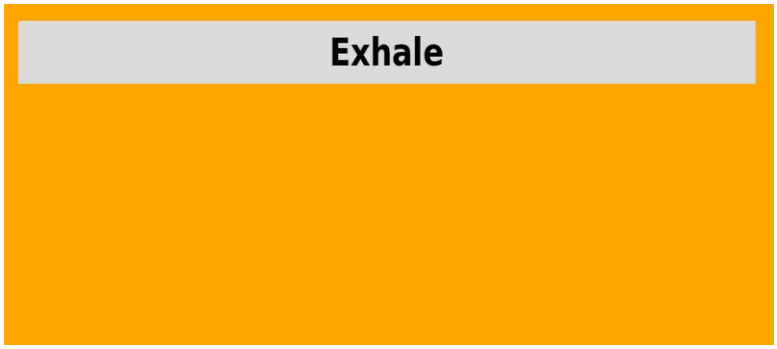
Vista 2 con el mensaje de ingesta de alcohol y botones "Sí" y "No"



3) El mensaje cambia a "Exhale" donde indica que debe realizar el soplido o exhalación. En esta parte el equipo detectará el soplido en el momento que se realice. La vista 3 es mostrada en Figura 77.

Figura 77

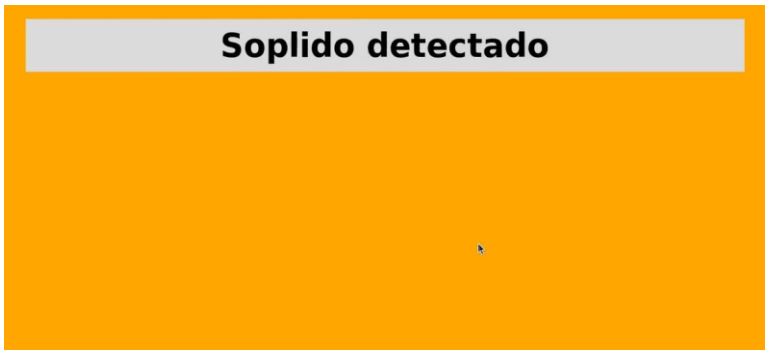
Vista 3 con el mensaje de "Exhale"



4) Al realizar el soplido, el mensaje cambia a "Exhalación detectada" en donde el equipo ejecuta los algoritmos para la estimación de nivel alcohólico, adquisición de imagen, reconocimiento de rostro y registro en la base de datos. La vista 4 es mostrada en Figura 78.

Figura 78

Vista 4 con el mensaje de "Soplido detectado"



5) Al registrar la información en la base de datos, se visualiza la persona reconocida y el nivel alcohólico estimado en la pantalla LCD, los cuales permiten al usuario corroborar el funcionamiento de los algoritmos. La vista 5 es mostrada en Figura 79.

Figura 79

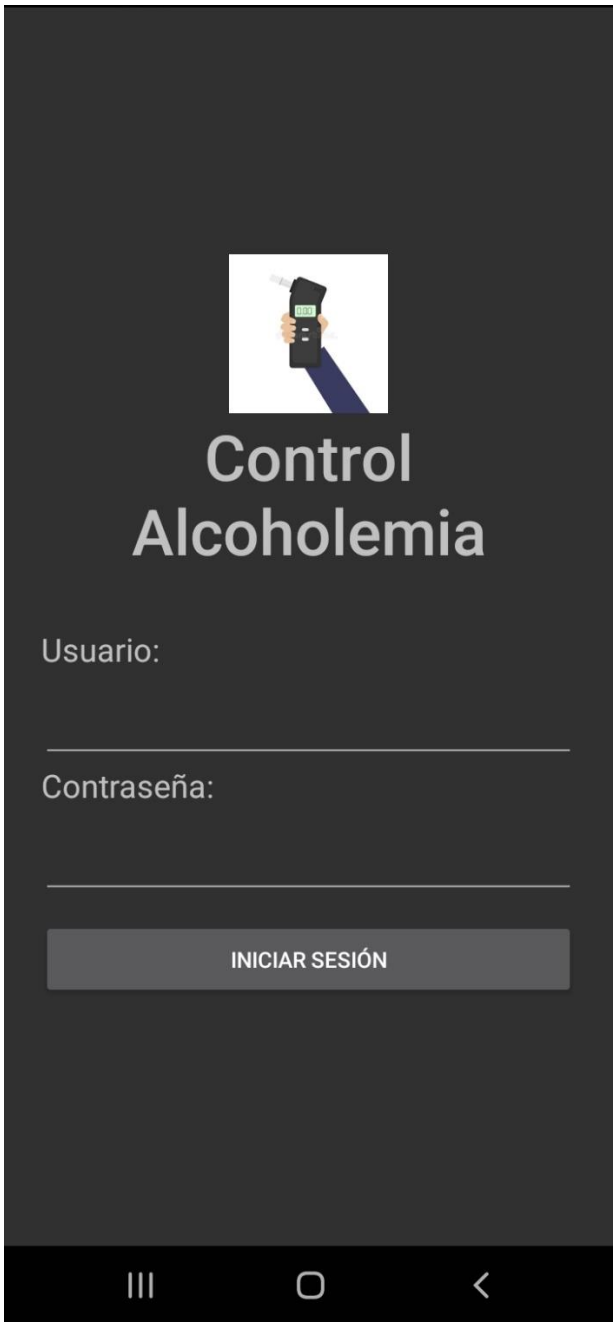
Vista 5 con el nivel alcohólico estimado y el rostro reconocido

El manual de usuario para el manejo de la aplicación móvil:

1. La persona debe colocar sus credenciales (usuario y contraseña) en la pantalla de inicio, mostrado en Figura 80, para iniciar sesión.

Figura 80

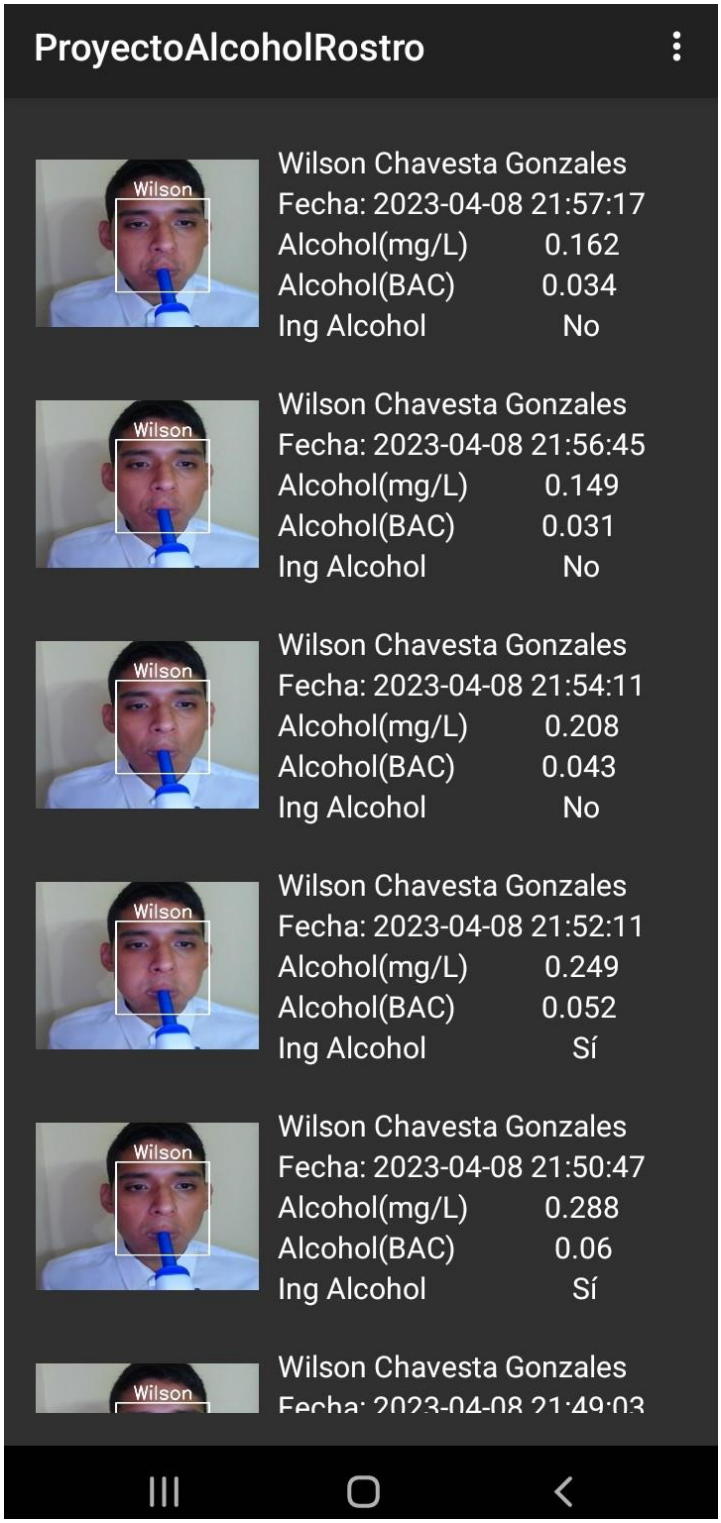
Pantalla de inicio de sesión de la aplicación



2. Al iniciar sesión, en Figura 81 se visualiza los datos obtenidos de pruebas anteriores que están ordenados por fecha. La información mostrada es:
    - ✓ Nombres y apellidos.
    - ✓ Fecha y hora de prueba.
    - ✓ Niveles de alcohol en mg/L y %BAC.
    - ✓ Respuesta de la ingesta de alcohol.
    - ✓ Persona reconocida.

Figura 81

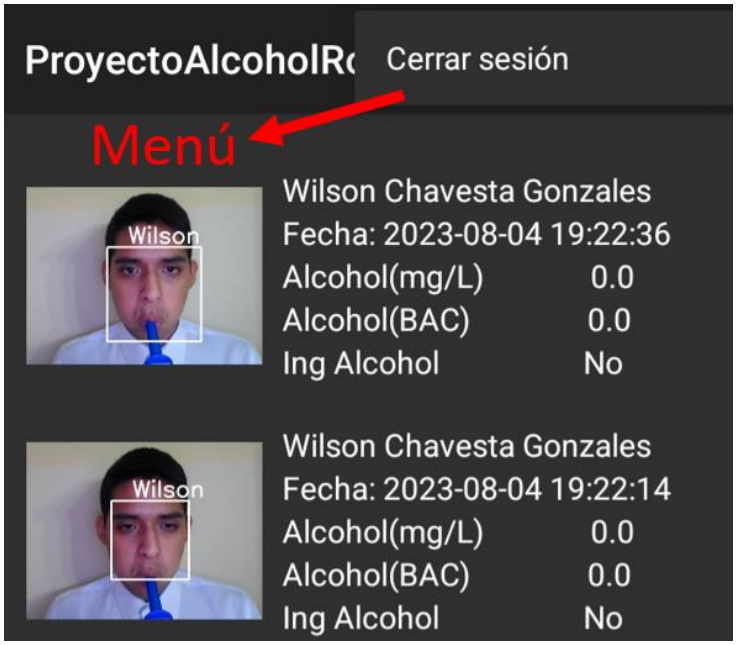
Pantalla de muestras de niveles alcohólicos de un usuario



3. En el menú de opciones, ubicada en la parte superior derecha, está la opción de cerrar sesión. Este es mostrado en Figura 82.

Figura 82

Aplicativo con el menú de opciones abierta



*4.2.5 **Comentarios finales del capítulo***

- El algoritmo desarrollado para la adquisición del rostro se ejecuta en aproximadamente 0.082 segundos, lo cual resulta idóneo para el registro sincronizado del rostro. Esto ha sido de vital importancia para evitar problemas derivados del movimiento de las personas y garantizar la fiabilidad de la captura de rostros en el equipo desarrollado.
- La implementación del algoritmo de reconocimiento facial desarrollado por otros autores ha acertada. El algoritmo permite el reconocimiento facial en tiempo real a la persona que usa el equipo; asimismo, permite que el usuario corrobore su correcto funcionamiento.
- La implementación del algoritmo para el registro en la base de datos permite registrar, el nivel alcohólico e información personal, a una base de datos remoto en tiempo real. El diseño de la base de datos es un prototipo que puede modificarse según el modelo de negocio de la empresa en donde se implemente el proyecto.
- La interfaz gráfica desarrollada es de fácil uso, debido a que no contiene múltiples controles para cada vista. Por otro lado, la aplicación móvil es un prototipo de aplicación implementado para que el usuario visualice los niveles de alcohol detectado y los rostros reconocidos registrados previamente.

5. Capítulo 5: Pruebas de validación y resultados

5.1 Introducción

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos del equipo para la detección de flujo de aire, nivel de alcohólico y reconocimiento de rostro en base a lo expuesto en el capítulo anterior.

5.2 Validación de flujo de aire

La medición de referencia, escenario de validación, la métrica de validación y los resultados de la detección de flujo de aire serán mostrados a continuación:

5.2.1 *Medición o prueba de referencia (Gold Standard)*

La prueba de referencia para evaluar el desempeño del flujo de aire a través del sonido es un "decibelímetro" adquirido por los autores.

5.2.2 *Escenario de validación*

La validación de la detección de flujo de aire se ha realizado utilizando el equipo desarrollado ubicado en un ambiente cerrado libre de ruido externo. Adicionalmente, se utiliza el decibelímetro ubicado a una distancia aproximada de 5 centímetros con respecto al micrófono para evaluar la intensidad del ruido sonoro.

5.2.3 *Métrica de validación*

Las métricas de validación son la tasa de error y la tasa de aciertos las cuales son las más utilizadas en artículos científicos y tesis para validar el desempeño de detección de variables. Sus ecuaciones son 5.1 y 5.2.

$$T_{EF} = \frac{n_{ef}}{n_{tf}} \times 100\% \quad (5.1)$$

$$T_{AF} = 100\% - T_{EF} \quad (5.2)$$

Donde**:**

T_{EF} : Tasa de error de detección de flujo de aire.

T_{AF}: Tasa de aciertos de detección de flujo de aire

n_{ef}: Número de errores de detección de flujo de aire

n_{tf}: Número total de muestras obtenidas.

T_{EF} y T_{AF} son valores que oscilan entre 0 y 100% y sus valores indican lo siguiente:

- Sí $T_{EF} < 10\%$ o $90\% < T_{AF} < 100\%$ indica que la detección del flujo de aire es confiable.
- Sí $T_{EF} > 10\%$ o $T_{AF} < 90\%$ indica que la detección del flujo de aire no es confiable y no es adecuada para la aplicación.

5.2.4 *Procedimiento de validación*

El procedimiento validación es el siguiente:

1. Se realiza el encendido del equipo y se ejecuta el algoritmo en el equipo desarrollado.
2. Se realiza la exhalación en el tubo y verifica en la pantalla LCD si se ha realizado la detección del flujo de aire. Asimismo, se verifica la medición obtenida del decibelímetro.
3. Se registran las mediciones en Excel para el cálculo de la tasa de error y aciertos de la detección de flujo de aire.
4. Se procede a realizar los pasos 1,2 y 3 hasta obtener 50 muestras en total.
5. Usando las ecuaciones 5.1 y 5.2 se obtuvieron T_{EF} y T_{AF} respectivamente.

5.2.5 *Resultados y discusión*

A partir de la obtención de personas soplando, se ha obtenido los resultados mostrados en la Tabla 15.

Tabla 15

Tabla de resultados obtenido para la detección de flujo de aire

Resultados obtenidos	
Decibelio umbral(dB)	88
Total de errores	4
Total de muestras	50
Tasa de error	8%
Tasa de aciertos	92%

Se obtuvo que el equipo realiza la detección de flujo de aire si se genera un ruido mayor a 88 dB, el cual es un valor de ruido moderadamente alto. Esto significa que el total de errores se debe a que se ha exhalado a una baja intensidad y no ha superado al decibelio umbral. Por otro lado, la tasa de error y la tasa de aciertos obtenidos son valores confiables para la aplicación y es posible reducirse a través de una inducción al usuario para realizar el soplido con mayor intensidad.

5.3 **Validación de nivel de alcohol**

La medición de referencia, el escenario de validación, la métrica de validación y los resultados de la medición del nivel de alcohol serán mostrados a continuación:

5.3.1 ***Medición o Prueba de referencia (Gold Standard)***

La prueba de referencia para evaluar el desempeño de la medición del nivel de alcohol es a través de un "Alcoholímetro Digital AT818". Esta es mostrada en Figura 4 y está en la tabla de productos y soluciones comerciales existentes del estado del arte. Sus características son:

- Tiempo de calentamiento: 10 segundos.
- Tiempo de respuesta: 5 segundos.
- Rango de temperatura de funcionamiento: 5-40°C.
- Rango de detección: 0,000-0,199% BAC/ 0,00-1,99 g/L / 0,00-0,99 mg / L

5.3.2 ***Escenario de validación***

La validación de la medición del nivel de alcohol se ha realizado utilizando el equipo desarrollado, cabe mencionar que las mediciones de alcohol son realizadas solo sí se ha detectado el flujo de aire. Adicionalmente, se utiliza los valores de alcohol obtenidos del Alcoholímetro Digital AT818 como referencia y bebidas alcohólicas en diferentes cantidades.

Para definir los niveles alcohólicos bajos, moderados y altos se ha tenido en consideración los niveles alcohólicos asociados a los efectos en humanos mostrados en la Tabla 6 del capítulo 2. Se ha asignado el nivel bajo a la cantidad de alcohol en la sangre entre 0.000 y 0.199 mg/L, debido a que produce poco o ningún efecto en la persona. Por otro lado, se ha definido el nivel medio a la cantidad de alcohol entre 0,200 y 0,499 mg/L dado a que produce la disminución del tiempo de reacción. Finalmente, el nivel alto está entre 0.500 y 1 mg/L

porque produce disminución en la capacidad de juicio en la persona y hay perdida en su coordinación (Restrepo & Cardona, 2015).

La elección del rango de medición, que abarca desde 0 hasta 1mg/L, se fundamenta en los valores máximos registrados por alcoholímetros digitales, así como en los límites de medición determinados durante las pruebas.

5.3.3 *Métricas de validación*

Las métricas de validación son el coeficiente de correlación de Pearson, el error absoluto y el error relativo las cuales son usadas en artículos científicos y proyectos de tesis para evaluar el desempeño de alcoholímetros. Estas son obtenidas a través de las ecuaciones 5.3, 5.4 y 5.5 respectivamente.

5.3.3.1 Coeficiente de correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson se obtiene a través de la ecuación 5.3.

$$\rho_{xy} = \frac{Cov_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \tag{5.3}$$

Donde**:**

Cov_{xy}: La covarianza entre los valores "x" e "y".

σ_x: La desviación típica de "x".

σ_y: La desviación típica de "y".

El valor del índice de correlación varía en el intervalo [-1,1], indicando el signo el sentido de la relación:

- Si ρ = 1, existe una correlación positiva perfecta.
- Si 0 < ρ < 1, existe una correlación positiva.
- Si ρ = 0, no existe relación lineal. Sin embargo, esto no necesariamente implica que las variables son independientes, ya que pueden existir relaciones no lineales entre las dos variables.
- Si -1 < ρ < 0, existe una correlación negativa.
- Si ρ = -1, existe una correlación negativa perfecta. Es decir, cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

5.3.3.2 Error absoluto

El error absoluto se obtiene de la ecuación 5.4.

$$\varepsilon_a = \left|V_{exp} - V_{ref}\right| \tag{5.4}$$

Donde**:**

ε_a: El error absoluto de medición de alcohol.

V_{exp}: El valor de alcohol en mg/L obtenido experimentalmente y varía en el intervalo [0, 1) mg/L.

V_{ref}: El valor de alcohol en mg/L usado como referencial y varía en el intervalo [0, 1) mg/L.

5.3.3.3 Error Relativo

El error relativo se obtiene a través de la ecuación 5.5.

$$\varepsilon_r(\%) = \frac{\left|V_{exp} - V_{ref}\right|}{V_{ref}} \times 100\% \tag{5.5}$$

Donde**:**

ε_r: El error relativo de mediciones de alcohol.

El valor de $\%\varepsilon$ varía en el intervalo [0, 100]%, cuyos valores indican lo siguiente:

- Sí $\varepsilon < 10\%$ indica que la medición de alcohol obtenida es cercana al valor de referencia, el cual lo hace adecuada para la aplicación.
- Sí $\varepsilon > 10\%$ indica que la medición de alcohol obtenida está alejada del valor de referencia por lo que lo hace no confiable e inadecuada para la aplicación.

5.3.4 ***Procedimiento de validación***

El proceso de validación es el siguiente:

1. Se realiza el encendido del equipo y se ejecuta el algoritmo en el equipo desarrollado.
2. Se ingiere alcohol (cerveza).
3. Se realiza la exhalación en el tubo, se verifica en la pantalla LCD que se ha realizado la medición de alcohol y se obtiene el valor medido.
4. Se realiza la exhalación en el alcoholímetro y se obtiene el valor medido.
5. Se repite los pasos 2, 3 y 4 con niveles bajos, medios y altos de alcohol hasta obtener un total de 50 muestras.
6. Se calcula el coeficiente de correlación de Pearson de todas las muestras.

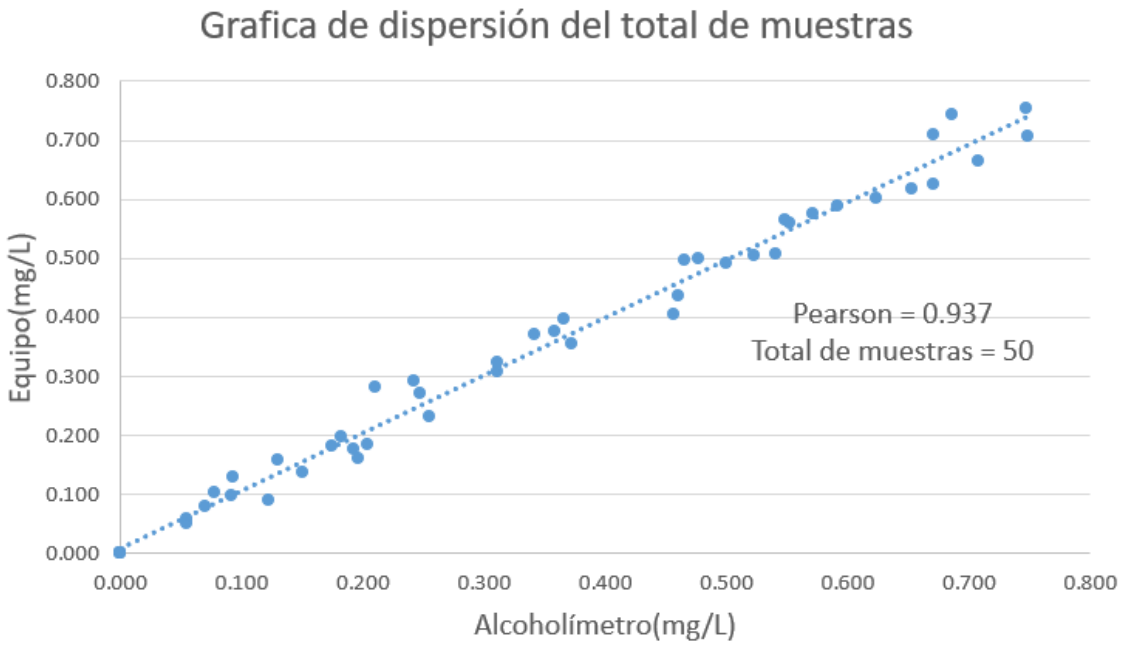
7. Se obtienen los promedios del error absoluto y relativo para valores bajos, moderados y altos de nivel de alcohol.

5.3.5 *Resultados y discusión*

Los resultados obtenidos con relación al coeficiente de Pearson a partir de las 50 muestras obtenidas son mostrados en Figura 83, donde se visualiza la gráfica de dispersión entre los valores teóricos(alcoholímetro) y adquiridos (equipo desarrollado).

Figura 83

Dispersión de las muestras de nivel alcohólico bajo, moderado y alto



El coeficiente de correlación de Pearson obtenido de las 50 muestras es de 0.937. Esto quiere decir que existe una correlación positiva ($0 < \rho < 1$), además, las variables están fuertemente correlacionadas ya que su valor es cercano a 1. Por lo tanto, el desempeño del equipo desarrollado para la medición de alcohol es óptimo para el control de alcoholemia.

Los resultados obtenidos con relación a los errores absolutos y relativos son mostrados en cuatro tablas. Las muestras obtenidas para los niveles de alcohol bajo, moderado y alto son mostradas en la Tabla 16, Tabla 17 y Tabla 18.. Por otro lado, los errores absolutos y relativos promedios de cada nivel de alcohol son mostrados en la Tabla 19.

.

Tabla 16

Tabla de mediciones de nivel alcohólico (nivel bajo)

Nivel Bajo			
Alcoholímetro (mg/L)	Equipo (mg/L)	Error absoluto (mg/L)	Error relativo (%)
0.000	0.000	0.000	0.000
0.197	0.190	0.007	3.361
0.193	0.176	0.017	8.705
0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000
0.078	0.083	0.004	5.391
0.000	0.000	0.000	0.000
0.150	0.138	0.012	8.273
0.094	0.099	0.005	5.654
0.000	0.000	0.000	0.000
0.175	0.171	0.004	2.428
0.000	0.000	0.000	0.000
0.182	0.189	0.007	3.608
0.123	0.119	0.004	3.205
0.070	0.076	0.006	8.124

Tabla 17

Tabla de mediciones de nivel alcohólico (nivel moderado)

Nivel Moderado			
Alcoholímetro (mg/L)	Equipo (mg/L)	Error absoluto (mg/L)	Error relativo (%)
0.358	0.376	0.017	4.805
0.342	0.361	0.019	5.602
0.366	0.376	0.011	2.884
0.373	0.355	0.019	4.982
0.204	0.185	0.019	9.121
0.465	0.477	0.012	2.480
0.477	0.499	0.023	4.732
0.210	0.232	0.022	10.437
0.312	0.307	0.005	1.453
0.461	0.437	0.024	5.196
0.242	0.262	0.020	8.367
0.312	0.323	0.011	3.509
0.248	0.272	0.025	10.005
0.255	0.233	0.022	8.605
0.417	0.414	0.003	0.739

Tabla 18

Tabla de mediciones de nivel alcohólico (nivel alto)

Nivel Alto			
Alcoholímetro (mg/L)	Equipo (mg/L)	Error absoluto (mg/L)	Error relativo (mg/L)
0.748	0.754	0.006	0.827
0.501	0.492	0.009	1.778
0.708	0.665	0.043	6.142
0.552	0.560	0.008	1.396
0.749	0.706	0.043	5.727
0.625	0.603	0.022	3.523
0.524	0.504	0.020	3.825
0.671	0.710	0.039	5.802
0.541	0.522	0.019	3.546
0.671	0.626	0.045	6.737
0.654	0.618	0.036	5.510
0.686	0.742	0.056	8.159
0.549	0.564	0.015	2.749
0.572	0.575	0.003	0.554
0.593	0.589	0.004	0.646

Tabla 19

Niveles de alcohol obtenidos a partir de 50 muestras de exhalaciones adecuadas

Nivel de alcohol	**Número de muestras**	**Rango de niveles de alcohol**	**Error absoluto (promedio)**	**Error relativo (promedio)**
Bajo	20	0.000 mg/L - 0.199 mg/L	0.006 mg/L	5.07
Moderado	15	0.200 mg/L – 0.499 mg/L	0.047 mg/L	12.26
Alto	15	0.500 mg/L – 1.000 mg/L	0.059 mg/L	9.05

Como se puede apreciar en la Tabla 19, se observa que el error absoluto aumenta a medida que se incrementa el nivel de alcohol, pero esta relación no es muy significativa. Esto se debe a que al calcular el promedio de los resultados de la columna de "Error relativo", obtenemos un valor general de todas las muestras, que equivale al 8.79%. Este valor indica que la precisión en la estimación del nivel de alcohol es de 91.21%.

Cabe mencionar que estos valores obtenidos se generan cuando el proceso de evaluación por el sistema propuesto se realiza correctamente, es decir, no es afectado por agentes externos tales como: ruido externo, sobrecarga alcohol gaseoso en el área del sensor y exhalación inadecuada (de baja intensidad o de corta duración).

5.4 **Validación de reconocimiento facial**

El escenario de validación, la métrica de validación y los resultados de la validación del reconocimiento facial serán mostrados a continuación:

5.4.1 ***Medición o Prueba de referencia (Gold Standard)***

La prueba de referencia para evaluar el desempeño del algoritmo de reconocimiento de rostro es a través de la inspección visual por parte de los autores del presente trabajo. Se evalúa visualmente si la persona reconocida por el algoritmo corresponde a la persona a evaluada.

5.4.2 ***Escenario de validación***

La validación del reconocimiento de rostro se realiza a través del ordenador en ambientes cerrados e iluminados con el objetivo de evitar obtener fotos de muy baja calidad que afecte el desempeño del algoritmo de reconocimiento de rostro. Se utiliza la cámara web del ordenador para la obtención de las imágenes utilizadas en el algoritmo de reconocimiento de rostro.

5.4.3 *Métrica de validación*

Las métricas de validación utilizadas para evaluar el desempeño del algoritmo de reconocimiento de rostro son: Porcentaje de verdaderos reconocimientos, porcentaje de falsos rechazos, porcentaje de verdaderos rechazos y porcentaje de falsos reconocimientos. Se ha elegido estos parámetros debido a que se utiliza estos parámetros en artículos y tesis para evaluar el desempeño de equipos de biométrica para el reconocimiento de rostro. Estos parámetros son mostrados en las ecuaciones (5.6), (5.7), (5.8) y (5.9).

Las ecuaciones (5.6) y (5.7) son utilizadas para evaluar el desempeño del algoritmo ante personas registradas en la base de datos.

$$P_{vrec}(p) = \frac{V_{rec}(p)}{T_{img}(p)} \times 100 \tag{5.6}$$

$$P_{frej}(p) = \frac{F_{rej}(p)}{T_{img}(p)} \times 100 \tag{5.7}$$

Donde:

$P_{vrec}(p)$: Porcentaje de verdaderos reconocimientos de una persona.
$P_{frej}(p)$: Porcentaje de falsos rechazos de una persona.
$V_{rec}(p)$: Número de verdaderos reconocimientos por persona.
$F_{rej}(p)$: Número de falsos rechazos por persona
$T_{img}(p)$: Número total de imágenes por persona.
p: es la persona a evaluar, tiene el siguiente rango: $0 < p < P$.
P: es el número de personas a evaluar.

Las ecuaciones (5.8) y (5.9) son utilizadas para evaluar el desempeño del algoritmo ante personas que no están registradas en la base de datos.

$$P_{vrej}(p) = \frac{V_{rej}(p)}{T_{img}(p)} \times 100 \tag{5.8}$$

$$P_{frec}(p) = \frac{F_{rec}(p)}{T_{img}(p)} \times 100 \tag{5.9}$$

Donde:

$P_{vrej}(p)$: Porcentaje de verdaderos rechazos de una persona.

$P_{frec}(p)$: Porcentaje de falsos reconocimientos de una persona.

$V_{rej}(p)$: Número de verdaderos rechazos por persona.

$F_{rec}(p)$: Número de falsos reconocimientos por persona.

$P_{vrej}(p)$, $P_{frec}(p)$, $P_{vrec}(p)$ y $P_{frej}(p)$ son valores que oscilan entre 0 y 100%, los umbrales asignados para evaluar su desempeño son 10% y 90% debido a que se desea una alta precisión en los equipos de biometría para, a su vez, evitar consecuencias negativas como la detección de alcohol a la persona equivocada.

Los valores de $P_{vrec}(p)$, $P_{frej}(p)$, $P_{vrej}(p)$ y $P_{frec}(p)$:

- Sí $P_{frej}(p) < 10\%$ o $90\% < P_{vrec}(p) < 100\%$ indica que el algoritmo de reconocimiento de rostro tiene buen desempeño ante personas registradas en la base de datos.
- Sí $P_{frec}(p) < 10\%$ o $90\% < P_{vrej}(p) < 100\%$ indica que el algoritmo de reconocimiento de rostro tiene buen desempeño ante personas que no están registradas en la base de datos.

5.4.4 *Procedimiento de validación*

El procedimiento de validación requiere de los siguientes pasos:

1. La persona se sienta en el ordenador mirando a su cámara para la toma de foto**.**
2. Se ejecuta el algoritmo de toma de imágenes usadas para el entrenamiento de la SVM. El procedimiento es el siguiente:
   2.1 En caso el usuario se registre en la base de datos, el usuario digita su información personal para su registro en ella. La consola en donde el usuario digita su información se muestra en Figura 84.
   2.2 Se realiza la toma de 20 fotos por persona en diferentes ambientes, en ellas, el usuario realiza gestos de exhalación en diferentes direcciones. En ejemplo se muestra en Figura 85**.**
3. Se repiten los pasos 1 y 2 hasta obtener las imágenes de 13 personas.
4. Se ejecuta el algoritmo para el entrenamiento de la SVM que utiliza el 70% de las imágenes obtenidas por persona.

5. Se ejecuta el algoritmo para la validación del reconocimiento de rostro, el cual se utiliza el 30% de las imágenes obtenidas por persona. El algoritmo corrobora si la persona está registrada en la base de datos y si la imagen tiene un 90% de similitud con la persona a reconocer.
6. Se obtiene los valores de P_{pvrec} , P_{pfrej}, P_{pvrej} y P_{pfrec} al promediar los valores de $P_{vrej}(p)$, $P_{frec}(p)$, $P_{vrec}(p)$ y $P_{frej}(p)$. El promedio es obtenido a través de las ecuaciones mostradas en (5.10), (5.11), (5.12) y (5.13)

$$P_{pvrec} = \frac{1}{P/2} \times \sum_{p=1}^{P/2} P_{vrec}(p) \tag{5.10}$$

$$P_{pfrej} = \frac{1}{P/2} \times \sum_{p=1}^{P/2} P_{frej}(p) \tag{5.11}$$

$$P_{pvrej} = \frac{1}{P/2} \times \sum_{p=P/2}^{P} P_{vrej}(p) \tag{5.12}$$

$$P_{pfrec} = \frac{1}{P/2} \times \sum_{p=P/2}^{P} P_{frec}(p) \tag{5.13}$$

Donde:

P_{pvrec}: Porcentaje promedio de verdaderos reconocimientos.

P_{pfrej}: Porcentaje promedio de falsos rechazos.

P_{pvrej}: Porcentaje promedio de verdaderos rechazos.

P_{pfrec}: Porcentaje promedio de falsos reconocimientos.

Figura 84

Ejemplo de información digitada del usuario antes del entrenamiento

```
Ingrese su nombre: Luis
Ingrese su apellido: Merino Rojas
Ingrese su correo: lmerino@hotmail.com
Ingrese su DNI: 71234541
Ingrese su celular: 917541331
Ingrese su ciudad: Lima
Ingrese su país: Perú
```

Figura 85

Toma de muestras para el entrenamiento de la SVM

5.4.5 ***Resultados y discusión***

La gráfica que evalúa los valores de $P_{vrej}(p)$, $P_{frec}(p)$, $P_{vrec}(p)$ y $P_{frej}(p)$ a cada persona es mostrada en Figura 86. Por otro lado, los valores obtenidos por persona son mostrados en la Tabla 20.

Figura 86

Métricas obtenidas por persona evaluada en la validación de reconocimiento de rostro

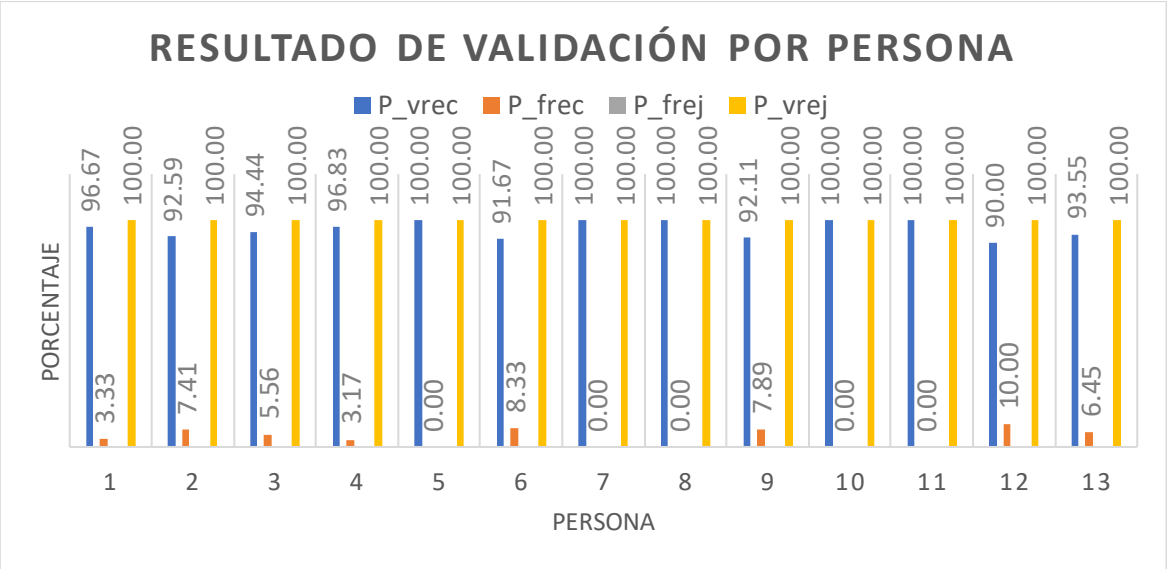


Tabla 20

Parámetros obtenidos por persona y por total de imágenes

Persona	$P_{vrec}(p)$	$P_{frec}(p)$	$P_{frej}(p)$	$P_{vrej}(p)$
1	97	3	0	100
2	93	7	0	100
3	94	6	0	100
4	97	3	0	100
5	100	0	0	100
6	92	8	0	100
7	100	0	0	100
8	100	0	0	100
9	92	8	0	100
10	100	0	0	100
11	100	0	0	100
12	90	10	0	100
13	100	0	0	100

En base a las muestras obtenidas por persona, se obtuvieron el valor mínimo, valor máximo y el promedio de todas las muestras obtenidas. Estos valores son mostrados en la Tabla 21.

Tabla 21

Porcentaje de verdaderos y falsos reconocimientos

Número de Personas (13)	P_{vrec}	P_{frec}	P_{frej}	P_{vrej}
Valor mínimo	90.00	0.00	0.00	100.00
Valor máximo	100.00	10.00	0.00	100.00
Promedio	95.99	4.01	0.00	100.00

A partir de los resultados obtenidos, se observa que el porcentaje de falsos rechazos de la persona 12 es elevado (10 %) debido a que tiene pocos detalles que se puedan resaltar para diferenciar con otras personas. Sin embargo, los porcentajes promedios de los parámetros están en los rangos que permite afirmar que el algoritmo de reconocimiento de rostro tiene un buen desempeño.

El buen desempeño del algoritmo se debe principalmente a que se obtuvieron imágenes de personas soplando y se adquirieron imágenes con diferentes tipos de luz (clara, amarilla y ambiental) usadas en el entrenamiento y la validación.

Algunas fotos obtenidas de los autores para la validación son mostradas en Figura 87**.**

Figura 87

Fotos de los autores del proyecto para la validación del reconocimiento de rostro

6. **Conclusiones y comentarios finales**

Objetivo: Desarrollo de un equipo electrónico de control de alcoholemia con capacidad de detección de flujo de aire dirigido y reconocimiento de rostro para obtener una precisión en la medición mayor al 90% y un porcentaje de verdaderos reconocimientos mayor al 95%.

Conclusión: Se logró desarrollar un equipo electrónico que permite el control automático del nivel alcohólico, el cual se aplica a personas, de diferentes estaturas, que entren a lugares donde su integridad física puede verse afectada por su estado de embriaguez. Este equipo es de fácil uso, el cual en la pantalla LCD muestra mensajes que orienta al usuario a su utilización. Además, el equipo desarrollado tiene un buen desempeño debido a que su precisión en la medición de alcohol es de 91.21 % y el porcentaje de verdaderos reconocimientos es de 95.99%. Esto permite su implementación en empresas que requieran un control de ingreso del personal.

Objetivo: Realizar estudios previos respecto a los procedimientos que existen para el control de personas hacia áreas restringidas. Indicador: Un reporte donde se explique los procedimientos existentes para el control de ingreso de personas en empresas.

Conclusión: Se logró realizar el estudio previo con respecto a los procedimientos que existen para el control de personas hacia áreas restringidas, el cual está documentado en el capítulo 1 del presente libro. El procedimiento implica realizar un control manual y un control de alcoholemia que verifique que es la persona autorizada y que tiene un nivel de alcohol permitido para el ingreso.

Objetivo: Desarrollar una estructura con el propósito de montar una solución para la operatividad, albergar el hardware y el sistema de detección facial y soplido para la detección de alcohol a personas. Indicador: Una estructura compuesta con PLA reutilizado y metal con altura máxima de 180 cm que permita ensamblar el hardware para la detección del soplido, de alcohol y facial; asimismo permita la visualización de la información registrada a través de una pantalla.

Conclusión: Se logró implementar un recinto impreso en 3D hecho en PLA para la parte superior (donde se ubican los dispositivos) y hecho de metal para la parte inferior (base y el soporte). Este permite albergar y ensamblar los componentes, conectarlo al ordenador vía red, disipar el calor generado por el Raspberry PI y adaptar su altura desde 120cm hasta un

máximo de 180 cm. Estas características satisfacen lo requerido en el indicador de cumplimiento.

Objetivo: Desarrollar una placa electrónica que permita adquirir el nivel de alcohol y la imagen que será obtenida por el algoritmo de reconocimiento; asimismo, el hardware deberá ejecutar algoritmos y transmitir los datos adquiridos a un computador remoto vía red donde se ejecute el algoritmo de reconocimiento. Indicador: Una placa electrónica basada en computador de placa reducida conectada a una cámara y a sensores de alcohol y sonido; asimismo se conecta vía ethernet con un computador remoto.

Conclusión: Se logró desarrollar una placa electrónica con una Raspberry PI 4, sensor MQ3, micrófono, cámara web y pantalla. El Raspberry PI se conecta, vía red LAN, al ordenador remoto para ejecutar el algoritmo de reconocimiento de rostro. La conexión implementada permite la transferencia de información personal de manera confiable y con mayor velocidad con respecto a la comunicación inalámbrica.

Objetivo: Desarrollar un algoritmo basado en inteligencia artificial para el reconocimiento de rostro ejecutado en un tiempo menor a 2 segundos; asimismo un algoritmo de estimación de nivel de alcohol con un valor máximo de 1mg/L utilizando procesamiento de datos. Indicador: Un algoritmo en lenguaje Python basado en redes neuronales para el reconocimiento de rostro ejecutado en un tiempo menor a 2 segundos; asimismo un algoritmo basado en regresión no lineal para la estimación de nivel de alcohol con un valor máximo de 1mg/L.

Conclusión: Se ha desarrollado un algoritmo en lenguaje Python basado en histograma de gradientes, árbol de regresión lineal, redes neuronales y máquina de soporte vectorial para el reconocimiento rostro que se ejecuta en un tiempo menor a 2 segundos. Además, el algoritmo basado en regresión no lineal, procesa los datos para obtener el nivel de alcohol detectado con un valor máximo de 1mg/L. Finalmente, permite visualizar y almacenar en la base de datos los datos obtenidos: el rostro reconocido y el nivel de alcohol detectado del usuario.

Objetivo: Validar el sistema propuesto en lo referente a su precisión de la medición del nivel de alcohol de un mínimo total de 30 muestras y en lo referente a su desempeño en el reconocimiento de personas. Indicador: Un reporte de validación donde se detalle el porcentaje error de medición de alcohol y el porcentaje de verdaderos reconocimientos.

Conclusión: En relación a lo reportado en la sección 5.2, el equipo permite la detección de flujo de aire a través del micrófono con una tasa de acierto de 92%, utilizando un total de 50 muestras. Por otro lado, según lo reportado en la sección 5.3, el equipo mide el nivel de alcohol al detectar el flujo de aire con un valor de coeficiente de correlación de Pearson de 0.937 y un porcentaje de error promedio de 8,79%, utilizando un total de 50 muestras. Finalmente, el porcentaje promedio de verdaderos reconocimientos de un total de 13 personas es de 95.99 %. Todos estos valores obtenidos validan que el equipo sea adecuado para la aplicación.

Según lo expuesto previamente, se puede comprobar que se ha tenido un cumplimiento de los objetivos en su totalidad a diferentes niveles.

7. **Recomendaciones para trabajos futuros**

- Para reducir errores en la detección de flujo de aire causados por ruidos externos, se recomienda usar otros materiales como poliestireno expandido (EPS) y el poliuretano termoplástico (TPU). Otra opción es colocar el equipo en un ambiente cerrado que esté aislado de ruido. Por último, se recomienda cambiar el tipo de sensor, ya sea sensor de oxígeno o de presión, sin embargo, estos son más costosos (mayor a 40 soles).

- Una alternativa para obtener mejores resultados en la medición, es cambiar el sensor a uno de mayor costo. Por lo general estos son de bajo consumo de corriente y permiten aumentar la velocidad de procesamiento del computador de placa reducida. Cabe resaltar que el sensado de alcohol depende de la forma en el que se mida (ubicación del sensor y forma de exhalación) y estos sensores, de igual manera, pueden presentar errores en la medición.

- Para mejorar el desempeño del algoritmo de reconocimiento de rostro se sugiere desarrollar una caseta que se encuentre iluminada. Esto es una alternativa para reducir errores en la detección de rostro y el reconocimiento de rostro causados por la presencia de múltiples personas y ambiente de baja iluminación.

- Una posible mejora para el presente proyecto sería reemplazar el Raspberry PI por por un dispositivo dedicado al procesamiento de imágenes, por ejemplo, el NVIDIA Jetson Nano. Su implementación permite que el algoritmo de reconocimiento de rostro se realice en el ordenador, de esta manera no se necesitaría una red LAN con un modem. Cabe resaltar que estos computadores de placa reducida no son asequibles en el mercado local.

- Con respecto a la interfaz de usuario, se recomienda realizar un aplicativo web que permita acceder y modificar información requerida. Esto permitiría que el usuario pueda observar, a detalle, el registro de mediciones alcohólicas dado un cierto periodo y modificar información personal. Para ello, se requiere desarrollar un software más elaborado que permita que este sea mantenible y escalable.

- Una alternativa para indicar la detección de alcohol es el implementar una bocina que se activa en caso de detección de alcohol. Esta opción puede sustituir el cambio

de color de los diodos LED o funcionar en conjunto con los LEDs, según los requerimientos específicos de la empresa.

- Para garantizar una lectura precisa y consistente del nivel de alcohol entre cada prueba, los usuarios que manejen el equipo electrónico pueden seguir estas recomendaciones: En primer lugar, implementar un sistema de flujo de aire que atraviese el sensor entre cada medición. Por ejemplo, se puede utilizar una pistola de aire frío para asegurar que el sensor esté limpio y listo para la siguiente prueba. Además, se sugiere aplicar cuidadosamente calor alrededor del sensor para mejorar su preparación para nuevas mediciones, siempre asegurándose de que no interfiera con otros dispositivos. Se sabe que, a temperaturas más altas, el alcohol tiende a evaporarse más fácilmente, lo que permite el sensado de nuevas muestras en menor tiempo.

Referencias

Aiello, C., & Agu, E. (2016). Investigating postural sway features, normalization and personalization in detecting blood alcohol levels of smartphone users. *2016 IEEE Wireless Health, WH 2016*, 73–80. https://doi.org/10.1109/WH.2016.7764559

Alonso, M. (2009). *Espacios de color RGB, HSI y sus Generalizaciones a n- Dimensiones* [Tesis doctoral, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica]. Repositorio institucional de la INEAOE. https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/362/1/AlonsoPeMA.pdf

Amazon. (s.f). *Oiyagai 5pcs High Sensitivity Sound Microphone Sensor Detection Module for Arduino AVR PIC* [Gráfico]. https://www.amazon.com/Willwin-Sensitivity-Microphone-Detection-Arduino/dp/B077MDT13M

Amodio, A., Ermidoro, M., Maggi, D., Formentin, S., & Savaresi, S. M. (2018). Automatic Detection of Driver Impairment Based on Pupillary Light Reflex. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *20*(8), 1–11. https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2871262

Arakawa, T., Kita, K., Wang, X., Miyajima, K., Toma, K., & Mitsubayashi, K. (2015). Chemiluminescent imaging of transpired ethanol from the palm for evaluation of alcohol metabolism. *Biosensors and Bioelectronics*, *67*(1), 570–575. https://doi.org/10.1016/j.bios.2014.09.045

Aymerich, J., Márquez, A., Terés, L., Muñoz-Berbel, X., Jiménez, C., Domínguez, C., … Dei, M. (2018). Cost-effective smartphone-based reconfigurable electrochemical instrument for alcohol determination in whole blood samples. *Biosensors and Bioelectronics*, *117*(1), 736–742. https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.06.044

Baek, G., & Bae, M. (2013). A study on voice sobriety test algorithm in a time-frequency domain. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, *8*(5), 395–401. https://doi.org/10.14257/ijmue.2013.8.5.39

Baeldung, E. (2022, 11 de noviembre) *Multiclass Classification Using Support Vector Machines*. Baeldung. Recuperado el 07 de abril de 2023, de https://www.baeldung.com/cs/svm-multiclass-classification

Chen, Y. Y., Lin, C. L., Lin, Y. C., & Zhao, C. (2018). Non-invasive detection of alcohol concentration based on photoplethysmogram signals. *IET Image Processing*, *12*(2), 188–193. https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2017.0625

Conexión Esan. (2018). *Accidentes de trabajo en el Perú: ¿qué dicen las estadísticas?* [Fotografía]. https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/accidentes-de-trabajo-en-el-peru-que-dicen-las-estadisticas

Consumer Design Products. (2019). *Alcoholímetro a Monedas Blow & Go CDP 4500* [Fotografía]. https://www.cdpsa.eu/producto/alcoholimetro-a-monedas-blow-go-cdp-4500/

Dalal, N., & Triggs, B. (2005). Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. *Proceedings - 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2005*, *1*(1), 886-893. 10.1109/CVPR.2005.177

de Prada, F., & Martínez, J. (2003). Alcohol y Alcoholímetros. *Anales de Química de la RSEQ*, *1*(1), 53-62. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/637814.pdf

Dertat. (2017). *Applied Deep Learning - Part 4: Convolutional Neural Networks*. Medium. Recuperado el 19 de febrero de 2024, de https://towardsdatascience.com/applied-deep-learning-part-4-convolutional-neural-networks-584bc134c1e2

Dhivya, M., & Kathiravan, S. (2015). Hybrid driver safety, vigilance and security system for vehicle. *2015 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*, *1*(7192994) https://doi.org/10.1109/ICIIECS.2015.7192994

Digital Breth Alcohol Tester. (2019). *Breath Alcohol Tester User Manual*. RoHS

Directorio General de Tráfico. (2021). *Así se hace un test de alcoholemia*. Recuperado el 19 de febrero de 2024, de https://revista.dgt.es/es/multimedia/infografia/2021/04ABRIL/0406-Controles-de-alcohol.shtml

Falabella. (s.f.). *Alcoholímetro Digital AT818 Policial Profesional con Boquillas – Negro*. Recuperado el 19 de febrero de 2024, de https://www.falabella.com.pe/falabella-pe/product/119606726/Alcoholimetro-Digital-AT818-con-Boquillas/119606727

Furió, C. (2018). *Sensores y calibración*. Tecnodiabetes. Recuperado el 4 de marzo de 2018, de https://tecnodiabetes.ai2.upv.es/index.php/glucosa-calibracion/#:~:text=Una%20curva%20de%20calibra-ci%C3%B3n%20puede,unidades%20de%20voltaje%20o%20corriente

García, M., & Baeza, A. (2023). *Primer acercamiento a las técnicas electroquímicas*. Facultad de estudios superiores cuautitlán. Unam. https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/17354/mod_resource/content/1/recursos_archivos_87857_87857_1056_230124-libro-electroquimica-4da-ed.pdf

Geitgey, A. (2016, 24 de Julio). *Machine Learning is fun! Part 4: modern face recognition with Deep learning.* Medium. Recuperado el 19 de febrero de 2024, de https://medium.com/@ageitgey/machine-learning-is-fun-part-4-modern-face-recognition-with-deep-learning-c3cffc121d78

Gelvez, J. (2019). *Redes neuronales convolucionales y redes neuronales recurrentes en la transcripción automática*. Universidad Nacional de Colombia https://www.researchgate.net/publication/334506545_Redes_neuronales_convolucionales_y_redes_neuronales_recurrentes_en_la_transcripcion_automatica

Hanwei Electronics Group Corporation (s.f). *Technical data mq-3 gas sensor*. https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/MQ-3.pdf

Ighalo, J., Uzairue, S., Ochonogor, C., Amaize, P., & Kennedy, O. (2019). Development of alcohol triggered vehicle engine lock system. *International Journal of Robotics and Automation (IJRA), 8*(1), 68-76. http://doi.org/10.11591/ijra.v8i1.pp68-76

Indsci. (2020). *¿Cuáles son los tipos de sensores comunes en la detección de gas?*. Industrial Scientific. Recuperado el 18 de febrero de 2024, de https://www.indsci.com/es/blog/cu%C3%A1les-son-los-tipos-de-sensores-comunes-en-la-detecci%C3%B3n-de-gases#:~:text=En%20una%20reacci%C3%B3n%20por%20oxidaci%C3%B3n,hacia%20el%20electrodo%20de%20trabajo.

Inter-Con Security. (2023). *Screening & Access Controls* [Fotografía]. https://www.icsecurity.com/key-services/screening-access-controls/

Kamath, A. K., Karthik, A. T., Monis, L., Mulimani, M., & Koolagudi, S. G. (2019).

Sobriety Testing Based on Thermal Infrared Images Using Convolutional Neural Networks. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, *2018-Octob*(October), 2170–2174. https://doi.org/10.1109/TENCON.2018.8650463

Kazemi, V. & Sullivan, J. (2014). *One Millisecond Face Alignment with an Ensemble of Regression Trees* [Conferencia]. Columbus, USA. https://doi.org/10.1109/CVPR.2014.241

Led box (2020). *Ficha técnica Tira LED EPISTAR SMD5050, RGB, DC12V, 5m (60Led/m) – IP68*. Recuperado el 1 de junio del 2020, de https://www.ledbox.es/tiras-de-led/tira-led-epistar-smd5050-rgb-dc12v-5m-(60led-m)-ip68

Madero, V. (2009). *Análisis y control de un vehículo basado en péndulo invertido* [Tesis de maestría, Universidad de Sevilla]. Repositorio Institucional de la US. https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70099/fichero/Trabajo+Fin+de+Master+-+Vicente+Madero%252F14+-+Ap%C3%A9ndice+H+-+I2C.pdf

Martinez, J. (2019, 23 de mayo). *Linear Regression, Logistic Regression, SVM* [Video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=_5lsmWpA5IU&list=PLjai7zNYchWMJuV46s6XOIURPA3dDkooG

Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2021). *Valorización económica de los accidentes de trabajo en el Perú, en los sectores construcción y transportes*. Gob. Recuperado el 5 de agosto de 2023, de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1824142/Valoracion_economica_SST.pdf?v=1619041017

Mora, A. (2016). *Gestión de la prevención. Control de accesos* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio Institucional de la UPCT. https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5636/tfm-mor-ges.pdf?sequence=3&isAllowed=y

On Semiconductor. (2001). *2N3904 Datasheet (PDF) – ON Semiconductor*. Alldatasheet. Recuperado el 19 de febrero de 2024, de https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/11470/ONSEMI/2N3904.html.

Paredes, A. (2019, 25 de agosto). *Prueba de alcoholemia: en que consiste el procedimiento.* Autofact. Recuperado el 05 de marzo de 2023, de https://www.autofact.com.co/blog/mi-carro/comparendos/prueba-de-alcoholemia

Ramos, J., Diaz de María, F., Perez, F., & Luengo, D. (2010). *Cuantificación y codificación* [Captura de pantalla]. http://www.tsc.uc3m.es/~hmolina/wp-content/uploads/2010/02/lsyc_ittst_p6.pdf

Ratan, P. (2023, 6 de noviembre). *What is the Convolutional Neural Network Architecture?*. Analytics Vidhya. Recuperado el 19 de febrero de 2024, de https://www.analyticsvidhya.com/blog/2020/10/what-is-the-convolutional-neural-network-architecture/

Resendiz, J. (2006). *Las máquinas de vectores de soporte para la identificación en Línea* [Tesis de Maestría, Centro De Investigación Y De Estudios Avanzados Del Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio institucional de la CINVESTAV. https://www.ctrl.cinvestav.mx/~yuw/pdf/MaTesJAR.pdf

Restrepo, Á., & Cardona, S. (2015). *Diseño de un sistema electrónico que mide El grado de alcoholemia y comprueba por biometría la identidad del conductor de un vehículo* [Tesis de titulación, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio institucional de la UTP. https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/97e443da-4a1d-4acc-9e91-035d34b705ed/content

Robés, D. (2020). *Sensores resistivos de nanofibras de dióxido de estaño para la detección de ozono* [Tesis de titulación, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional de la UPM. https://oa.upm.es/65018/

Rosero, P., López, V., Peluffo, D., Erazo, V., & Arciniega, R. (2019). Multivariate Approach to Alcohol Detection in-Drivers by Sensors and Artificial Vision. *Lecture Notes in Computer Science*. *11487*, 234-243. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19651-6_23

Schroff, F., Kalenichenko, D., & Philbin, J. (2015). FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clusterin. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, *1*(15524223), 815-823. https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298682

Scikit-learn. (2023). *1.4. Support Vector Machines*. Recuperado el 19 de febrero de 2024, de https://scikit-learn.org/stable/modules/svm.html

SCRAM Systems. (2021). *Using SCRAM CAM*. Recuperado el 19 de febrero de 2024, de https://www.scramsystems.com/help/scram-cam/

Sempionatto, J. R., Brazaca, L. C., García-Carmona, L., Bolat, G., Campbell, A. S., Martin, A., …Wang, J. (2019). Eyeglasses-based tear biosensing system: Non-invasive detection of alcohol, vitamins and glucose. *Biosensors and Bioelectronics*, *137*(1), 161–170. https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.04.058

Singh, A. (2019, 4 de setiembre). *Feature Engineering for Images: A Valuable Introduction to the HOG Feature Descriptor*. Analytics Vidhya. Recuperado el 01 de Julio de 2023 de https://www.analyticsvidhya.com/blog/2019/09/feature-engineering-images-introduction-hog-feature-descriptor/#h-implementing-hog-feature-descriptor-in-python

Suleiman, A., & Sze, V. (2016). Energy-Efficient HOG-based Object Detection at 1080HD 60 fps with Multi-Scale Support. *Journal of Signal Processing Systems, 84*(3), 325 – 337. https://doi.org/10.1007/s11265-015-1080-7

Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V., & Rabinovich, A. (2014). Inception module, naive version [Diagrama]. https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.4842

Texas Instruments. (2009). *Ultra-Small, Low-Power, 16-Bit Analog-to-Digital Converter with Internal Reference*. Alldatasheet. Recuperado el 5 de agosto de 2023, de https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/292735/TI/ADS1115.html

Universitat de València. (2008). *Conversión A/D. Muestreo* [Captura de Pantalla]. https://www.uv.es/soriae/tema_1_pds.pdf

Anexo(s)

ANEXO 1: EXPEDIENTE DE LA PATENTE OTORGADA

Nº DE EXPEDIENTE 001450-2021/DIN

Fecha de Presentac. Original	2021-09-06	**Lugar Presentación**	MDP VIRTUAL
Fecha de Inicio:	2021-09-06		
Ver Gráfico			

Datos del Registro		**Modelo de Utilidad**	
Título :	EQUIPO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DEL NIVEL DE ALCOHOL CON RECONOCIMIENTO FACIAL		
Fecha de Concesión :	2023-09-13	**Fecha de Vencimiento :**	2031-09-06
Clasificación :	G01N 33/497; G07C 1/10; G07C 9/37		
Nº Título :		**Fecha Publicación :**	2022-09-14
Prioridades :			
Resumen :	Comprende una estructura fija que comprende de un recinto que recubre el equipo eléctrico, que permite el almacenamiento, la protección frente a la humedad y agentes externos, aislamiento térmico de los componentes electrónicos que conforman el equipo electrónico de forma integral; un computador de placa reducida para el funcionamiento, procesamiento y comunicación de los dispositivos y componentes electrónicos; un módulo para la detección del flujo de aire para la confirmación del soplido de la persona que lo utiliza; un módulo integrado con el sensor de alcohol para la detección del grado de alcohol en formatos de medidas más específicos; una pantalla táctil para que la persona pueda ser testigo de las mediciones y conclusión final del resultado; una cámara web para el reconocimiento en tiempo real de la persona que realiza el proceso; un orificio para el ingreso de un tubo personal para realizar el soplido desde cualquier ángulo; y una base de datos alojado en un servidor web para almacenar un historial con el registro de cada experiencia en su utilización.		

Personas Jurídicas / Naturales	
TITULAR :	CHAVESTA GONZALES Wilson Manuel (Perú)
TITULAR :	KEMPER VÁSQUEZ Guillermo Leopoldo (Perú)
TITULAR :	MERINO ROJAS Luis Brandon (Perú)
TITULAR :	UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS S.A.C. (Perú)
SOLICITANTE :	CHAVESTA GONZALES Wilson Manuel (Perú)
SOLICITANTE :	KEMPER VÁSQUEZ Guillermo Leopoldo (Perú)
SOLICITANTE :	MERINO ROJAS Luis Brandon (Perú)
SOLICITANTE :	UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS S.A.C. (Perú)
INVENTOR :	CHAVESTA GONZALES Wilson Manuel (Perú)
INVENTOR :	KEMPER VÁSQUEZ Guillermo Leopoldo (Perú)
INVENTOR :	MERINO ROJAS Luis Brandon (Perú)
REPRESENTANTE :	GARCÍA QUESADA Alfredo Augusto (Perú)

Conclusión del Expediente y Estado Actual			
Conclusión :	OTORGADO	**Fecha de Conclusión :**	2023-09-13
Estado Actual :	OTORGADO	**Fecha Estado :**	2023-09-13

ANEXO 2: CERTIFICADO DE PARTICIPACIÓN EN LA CONFERENCIA ICAT 2020

ANEXO 3: TABLA DE PRUEBAS DE DETECCIÓN DE FLUJO DE AIRE

Muestra	Detección de flujo de aire	Decibelios generados(dB)
1	Si	91
2	No	82
3	Si	89
4	Si	89
5	Si	93
6	Si	93
7	Si	89
8	Si	94
9	Si	89
10	Si	91
11	Si	91
12	No	85
13	Si	90
14	Si	94
15	Si	93
16	Si	93
17	Si	91
18	Si	93
19	Si	91

20	Si	89
21	Si	93
22	Si	91
23	Si	93
24	Si	93
25	Si	89
26	Si	93
27	Si	90
28	Si	90
29	Si	90
30	Si	93
31	Si	94
32	Si	89
33	Si	94
34	Si	94
35	Si	92
36	Si	94
37	No	84
38	Si	91
39	Si	90
40	Si	89
41	Si	92

42	Si	89
43	Si	90
44	Si	91
45	Si	94
46	No	80
47	Si	92
48	Si	92
49	Si	91
50	Si	92